

# **SKRIPSI**

## **STUDI PERENCANAAN PORTAL DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM ENCASED DAN BALOK CASTELLA METODE LRFD ANALISA GEMPA DINAMIS PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN TERPADU II FKUB – RSSA MALANG**



**Di Susun Oleh :**

**NANDO RISKY RAHMADHANI**

**12.21.078**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG  
2016**

## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayahnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

Tak lepas dari berbagai hambatan, rintangan, dan kesulitan yang muncul, penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu tak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Sudirman Indra, MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
2. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
3. Bapak Ir. Ester Priskasari., MT. Selaku Dosen Pembimbing 1 Laporan Skripsi
4. Bapak Ir. Bambang Wedyantadji., MT Selaku Dosen Pembimbing 2 Laporan Skripsi

Dengan segala kerendahan hati penyusun menyadari bahwa dalam Laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penyusun harapkan, akhir kata semoga Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, September 2016

Penyusun

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

ABTRAKSI

|   |       |
|---|-------|
| KATA PENGANTAR .....  | i     |
| DAFTAR ISI .....  | ii    |
| DAFTAR GAMBAR .....   | x     |
| DAFTAR TABEL.....   | xv    |
| DAFTAR GRAFIK .....   | xxii  |
| DAFTAR NOTASI .....   | xxiii |
| <b>BAB I : PENDAHULUAN</b> .....  | 1     |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1     |
| 1.2 Rumusan Masalah .....   | 3     |
| 1.3 Maksud dan Tujuan .....   | 4     |
| 1.4 Manfaat .....   | 4     |
| 1.5 Batasan Masalah .....   | 5     |
| <b>BAB II : TINJAUAN PUSTAKA</b> .....  | 7     |
| 2.1 Konsep Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa .....                                | 7     |
| 2.2 Konfigurasi Struktur Portal Baja Tahan Gempa .....                                  | 8     |
| 2.2.1 Sistem Rangka Bresing Konsentrik<br>( <i>Concentrically Braced Frames</i> ) ..... | 8     |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.2 Sistem Rangka Bresing Eksentris<br>( <i>Eccentrically Braced Frames</i> ) .....   | 9  |
| 2.3 .....   | 11 |
| 2.3.1 Menentukan Kategori Struktur Bangunan (I-IV) dan<br>Faktor Keutamaan ( $I_e$ ) .....  | 11 |
| 2.3.2 Menentukan Parameter Percepatan Gempa ( $S_s$ , $S_1$ )...  | 14 |
| 2.3.3 Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan<br>Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan<br>Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-<br>Tertarget ( $MCE_R$ ) ..... | 17 |
| 2.3.4 Menentukan Spektrum Respons Desain .....  | 19 |
| 2.3.5 Menentukan Kategori Desain Seismik (A-F) .....  | 20 |
| 2.3.6 Batasan Perioda Fundamental .....   | 22 |
| 2.3.7 Perhitungan Geser Dasar Seismik .....   | 23 |
| 2.3.8 Penentuan Simpangan Antar Lantai .....  | 25 |
| 2.4 Pembebanan dan Kombinasi Pembebanan .....   | 26 |
| 2.4.1 Beban Mati .....  | 27 |
| 2.4.2 Beban Hidup .....   | 27 |
| 2.4.3 Beban Gempa .....   | 28 |
| 2.4.4 Kombinasi Pembebanan .....  | 28 |
| 2.5 Perencanaan Elemen Struktur .....   | 30 |
| 2.5.1 Desain Kekuatan Elemen .....  | 30 |
| 2.5.2 Komponen Struktur untuk Lentur<br>(berdasarkan SNI 1729 : 2015) .....   | 31 |



|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| 2.5.3           | Komponen Struktur Untuk Geser                        |    |
|                 | (berdasarkan SNI 1729 : 2015) .....                  | 37 |
| 2.5.4           | Komponen Struktur untuk Tarik Aksial                 |    |
|                 | (berdasarkan SNI 1729 : 2015) .....                  | 38 |
| 2.5.5           | Komponen Struktur Untuk Tekan                        |    |
|                 | (berdasarkan SNI 1729 : 2015) .....                  | 39 |
| 2.5.6           | Komponen Struktur yang Mengalami Gaya                |    |
|                 | Kombinasi .....                                      | 41 |
| 2.5.7           | Komponen Bresing .....                               | 42 |
| 2.5.8           | Komponen Struktur Komposit .....                     | 46 |
| 2.5.9           | Perhitungan Angkur (Steel headed Stud) .....         | 60 |
| 2.6             | Perencanaan Sambungan Baut .....                     | 47 |
| 2.6.1           | Kekuatan Geser dan Tarik dari Baut dan Bagian Bagian |    |
|                 | Berulir .....  | 64 |
| 2.6.2           | Kekuatan Tumpu Desain Untuk Baut .....               | 65 |
| 2.6.3           | Jarak Antar Baut .....                               | 66 |
| 2.7             | Sambungan Las pada Plat Ujung .....                  | 67 |
| 2.8             | Plat Landasan ( <i>Base Plate</i> ) .....            | 69 |
| <b>BAB III:</b> | <b>PERHITUNGAN STATIKA</b> .....                     | 74 |
| 3.1             | Data – Data Perencanaan .....                        | 74 |
| 3.1.1           | Data Bangunan .....                                  | 74 |
| 3.1.2           | Data Material .....                                  | 75 |
| 3.2             | Pendimensian Struktur .....                          | 76 |
| 3.2.1           | Balok .....  | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2.2 Kolom .....  | 78  |
| 3.2.3 Bresing .....                                      | 79  |
| 3.2.4 Plat .....   | 79  |
| 3.3 Perencanaan Plat Lantai .....                        | 83  |
| 3.3.1 Pembebanan Plat .....                              | 84  |
| 3.3.2 Penulangan Plat .....                              | 85  |
| 3.3.3 Konversi Tulangan Biasa ke Wire Mesh .....         | 91  |
| 3.4 Pembebanan .....                                     | 94  |
| 3.4.1 Beban Atap .....                                   | 95  |
| 3.4.2 Berat Lantai 16 .....                              | 99  |
| 3.4.3 Berat Lantai 15 .....                              | 105 |
| 3.4.4 Berat Lantai 14 .....                              | 111 |
| 3.4.5 Berat Lantai 13 s/d Lantai 8 .....                 | 116 |
| 3.4.6 Berat Lantai 7 .....                               | 122 |
| 3.4.7 Berat Lantai 6 .....                               | 128 |
| 3.4.8 Berat Lantai 5 .....                               | 134 |
| 3.4.9 Berat Lantai 4 .....                               | 140 |
| 3.4.10 Berat Lantai 3 .....                              | 146 |
| 3.4.11 Berat Lantai 2 .....                              | 151 |
| 3.4.12 Berat Lantai 1 .....                              | 157 |
| 3.5 Perhitungan Beban Gempa .....                        | 164 |
| 3.5.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor       |     |
| Keutamaan .....  | 164 |
| 3.5.2 Parameter Percepatan Gempa ( $S_s$ , $S_1$ ) ..... | 165 |

|  |            |
|--|------------|
| 3.5.3 Kategori Desain Seismik (KDS) .....                                  | 167        |
| 3.5.4 Spektrum Respons Desain .....  | 170        |
| 3.5.5 Batasan Perioda Fundamental Struktur .....                           | 172        |
| 3.5.6 Pemilihan Parameter Sistem Struktur ( $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ ) ... | 174        |
| 3.5.7 Perhitungan Nilai <i>Base Shear</i> .....                            | 174        |
| 3.5.8 Perhitungan Gaya Gempa Lateral ( $F$ ) .....                         | 175        |
| 3.6 Kontrol Simpangan Antar Lantai .....                                   | 184        |
| 3.7 Kontrol Simpangan Struktur .....                                       | 190        |
| <b>BAB IV : PERHITUNGAN KOMPONEN STRUKTUR .....</b>                        | <b>192</b> |
| 4.1 Lebar Efektif dan Momen Inersia Komposit                               |            |
| Balok Induk .....  | 192        |
| 4.1.1 Balok Tepi .....   | 193        |
| 4.1.2 Balok Tengah .....   | 198        |
| 4.2 Lebar Efektif dan Momen Inersia Komposit                               |            |
| Balok Anak .....   | 203        |
| 4.2.1 Balok Tepi .....   | 204        |
| 4.2.2 Balok Tengah .....   | 209        |
| 4.3 Perencanaan Balok Induk dengan Bentang 8m .....                        | 214        |
| 4.3.1 Kontrol Terhadap Lentur .....  | 214        |
| 4.3.2 Balok Terhadap Geser .....   | 220        |
| 4.3.3 Perhitungan <i>Shear Connector</i> .....                             | 221        |
| 4.3.4 Kontrol Lendutan .....   | 224        |
| 4.4 Perencanaan Balok Anak dengan Bentang 4m .....                         | 237        |
| 4.4.1 Kontrol Terhadap Lentur .....  | 237        |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4.2 Balok Terhadap Geser .....                                   | 239 |
| 4.4.3 Perhitungan <i>Shear Connector</i> .....                     | 240 |
| 4.4.4 Kontrol Lendutan .....                                       | 244 |
| 4.5 Perencanaan Balok Link .....                                   | 250 |
| 4.5.1 Kontrol Terhadap Lentur .....                                | 251 |
| 4.5.2 Balok Terhadap Geser .....                                   | 258 |
| 4.5.3 Perhitungan Pengaku Link .....                               | 259 |
| 4.5.4 Perhitungan <i>Shear Connector</i> .....                     | 262 |
| 4.6 Perencanaan Bresing (Batang Tekan) .....                       | 265 |
| 4.6.1 Cek Kelangsingan Penampang .....                             | 266 |
| 4.6.2 Kontrol Tekuk Lateral .....                                  | 267 |
| 4.6.3 Kontrol Tekan Penampang .....                                | 268 |
| 4.6.4 Kontrol Lentur Penampang .....                               | 271 |
| 4.7 Perencanaan Bresing (Batang Tarik) .....                       | 273 |
| 4.8 Perencanaan kolom Bentang 3,3 m .....                          | 275 |
| 4.8.1 Kontrol Terhadap Tekan .....                                 | 276 |
| 4.8.2 Kontrol Lentur Penampang .....                               | 282 |
| 4.8.3 Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur .....                 | 283 |
| <b>BAB V : PERENCANAAN SAMBUNGAN &amp; <i>BASE PLATE</i></b> ..... | 284 |
| 5.1 Ssambungan Balok Induk – Balok Anak .....                      | 284 |
| 5.1.1 Kontrol Terhadap Geser, Tumpu dan Tarik .....                | 287 |
| 5.1.2 Jumlah Baut dan Jarak Antar Baut .....                       | 288 |
| 5.1.3 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Geser .....                   | 290 |
| 5.1.4 Kontrol Kekuatan Geser Block Baut .....                      | 291 |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1.5 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Tarik .....    | 293 |
| 5.1.6 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Momen .....    | 296 |
| 5.2 Sambungan Balok Anak – Balok Anak .....         | 297 |
| 5.2.1 Kontrol Terhadap Geser, Tumpu dan Tarik ..... | 299 |
| 5.2.2 Jumlah Baut dan Jarak Antar Baut .....        | 300 |
| 5.2.3 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Geser .....    | 303 |
| 5.2.4 Kontrol Kekuatan Geser Block Baut .....       | 303 |
| 5.2.5 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Tarik .....    | 306 |
| 5.2.6 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Momen .....    | 308 |
| 5.3 Sambungan Bresing – Balok Induk .....           | 310 |
| 5.3.1 Tebal Las Rencana (a) .....                   | 311 |
| 5.3.2 Kuat Desain Las Fillet .....                  | 311 |
| 5.4 Sambungan Link – Balok Induk .....              | 313 |
| 5.4.1 Kontrol Terhadap Geser, Tumpu dan Tarik ..... | 316 |
| 5.4.2 Jumlah Baut dan Jarak Antar Baut .....        | 317 |
| 5.4.3 Tebal Plat Ujung Minimum .....                | 318 |
| 5.4.4 Kontrol Kekuatan Geser Block Baut .....       | 321 |
| 5.4.5 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Tarik .....    | 324 |
| 5.4.6 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Momen .....    | 326 |
| 5.4.7 Kuat Desain Las Fillet .....                  | 327 |
| 5.5 Sambungan Bresing – Balok Induk (bawah) .....   | 330 |
| 5.5.1 Sambungan Sayap Bresing ke Plat Buhul .....   | 333 |
| 5.5.2 Sambungan Badan Bresing ke Plat Buhul .....   | 340 |
| 5.5.3 Sambungan Plat Buhul ke Kolom .....           | 346 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.5.4 Kuat Desain Las Fillet .....                 | 354        |
| 5.6 Sambungan Balok Induk – Kolom .....            | 356        |
| 5.6.1 Sambungan Badan Balok pada Flens Kolom ..... | 361        |
| 5.6.2 Sambungan Flens Balok pada Kolom .....       | 369        |
| 5.7 Sambungan Kolom – Kolom .....                  | 378        |
| 5.7.1 Sambungan Flens Kolom .....                  | 379        |
| 5.7.2 Sambungan <i>Web</i> Kolom .....             | 382        |
| 5.7 Perhitungan Base Plate .....                   | 375        |
| <b>BAB IV : KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>          | <b>391</b> |
| 6.1 Kesimpulan .....                               | 400        |
| 6.2 Saran .....                                    | 405        |

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1  | Jenis-jenis Sistem Rangka Bresing Konsentris .....  | 9  |
| Gambar 2.2  | Jenis-jenis Sistem Rangka Bresing Eksentris .....   | 10 |
| Gambar 2.3  | Peta Parameter (Percepatan Batuan Dasar Pada<br>Periode Pendek (MCER, SS) .....               | 15 |
| Gambar 2.4  | Peta Parameter (percepatan batuan dasar pada<br>periode 1 detik) (MCER, S1).....              | 16 |
| Gambar 2.5  | Spektrum Respons Desain .....   | 20 |
| Gambar 2.6  | Perhitungan Geser Dasar Seismik .....   | 24 |
| Gambar 2.7  | Kurva Tegangan Regangan Pada Profil Baja .....  | 33 |
| Gambar 2.8  | Diagram Tegangan Bagian Sayap ( <i>Flange</i> ) Profil Baja ....                              | 34 |
| Gambar 2.9  | Diagram Tegangan Bagian Badan ( <i>web</i> ) Profil Baja .....                                | 35 |
| Gambar 2.10 | Pembentukan Sendi Plastis Geser Link .....  | 43 |
| Gambar 2.11 | Pengaku Link .....  | 44 |
| Gambar 2.12 | Sudut Rotasi Link .....   | 46 |
| Gambar 2.13 | Jenis – Jenis Penampang Balok Komposit .....  | 47 |
| Gambar 2.14 | Lebar Efektif Penampang Komposit .....  | 47 |
| Gambar 2.15 | Distribusi Tegangan Plastis Pada Kasus Sumbu Netral<br>Berada pada Plat Momen Plastis .....   | 49 |
| Gambar 2.16 | Distribusi Tegangan Plastis Pada Kasus Sumbu Netral<br>Berada pada Profil Momen Plastis ..... | 51 |
| Gambar 2.17 | Distribusi Tegangan Elastis Pada Penampang Komposit<br>Momen Positif .....                    | 53 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 2.18 | Distribusi Tegangan Plastis Pada Penampang Komposit  |     |
|             | Momen Negatif .....  | 55  |
| Gambar 2.19 | Garis Netral Jatuh pada Sayap Atas Profil .....  | 56  |
| Gambar 2.20 | Garis Netral Jatuh Pada Badan Profil .....   | 57  |
| Gambar 2.21 | Luasan dan Titik Berat Momen .....   | 59  |
| Gambar 2.22 | Letak Penghubung Geser Balok .....   | 62  |
| Gambar 2.23 | Kegagalan Geser Baut .....   | 65  |
| Gambar 2.24 | Kegagalan Tarik Baut .....   | 66  |
| Gambar 2.25 | Kegagalan Tumpu Baut Berulir .....   | 66  |
| Gambar 2.26 | Tebal ( <i>throat</i> ) Efektif Las Sudut .....  | 68  |
| Gambar 2.27 | (a) Notasi Pada Plat Landasan / <i>Base Plate</i> , (b) Beban<br>yang Bekerja Pada <i>Base Plate</i> ..... | 70  |
| Gambar 2.28 | <i>Base Plate</i> dengan eksentrisitas beban .....   | 71  |
| Gambar 3.1  | Penampang Balok Baja (Profil WF) .....   | 76  |
| Gambar 3.2  | Penampang Kolom Baja (Profil KC) .....   | 78  |
| Gambar 3.3  | Penampang Bresing baja (Profil WF) .....   | 79  |
| Gambar 3.4  | Denah Plat Lantai .....  | 83  |
| Gambar 3.5  | Penulangan Pelat dengan Tulangan Biasa .....   | 93  |
| Gambar 3.6  | Penulangan Pelat dengan Tulangan <i>Wire Mesh</i> .....  | 93  |
| Gambar 3.7  | Berat Struktur untuk Menghitung Beban Gempa<br>Per Lantai .....  | 94  |
| Gambar 3.8  | Nilai Parameter Percepatan Gempa .....   | 167 |
| Gambar 4.1  | Denah Pembalokan (Balok Induk Komposit) .....  | 192 |



|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 4.2  | Lebar Efektif Pelat Penampang Komposit .....         | 193 |
| Gambar 4.3  | Jarak Titik Berat Penampang Komposit .....           | 194 |
| Gambar 4.4  | Garis Netral Balok Komposit .....                    | 195 |
| Gambar 4.5  | Lebar Efektif Pelat Penampang Komposit .....         | 198 |
| Gambar 4.6  | Jarak Titik Berat Penampang Komposit .....           | 199 |
| Gambar 4.7  | Garis Netral Balok Komposit .....                    | 200 |
| Gambar 4.8  | Denah Pembalokan (Balok Anak Komposit) .....         | 203 |
| Gambar 4.9  | Lebar Efektif Pelat Penampang Komposit .....         | 204 |
| Gambar 4.10 | Jarak Titik Berat Penampang Komposit .....           | 205 |
| Gambar 4.11 | Garis Netral Balok Komposit .....                    | 206 |
| Gambar 4.12 | Lebar Efektif Pelat Penampang Komposit .....         | 209 |
| Gambar 4.13 | Jarak Titik Berat Penampang Komposit .....           | 210 |
| Gambar 4.14 | Garis Netral Balok Komposit .....                    | 211 |
| Gambar 4.15 | Denah Lantai 14 (Balok yang Ditinjau) .....          | 214 |
| Gambar 4.16 | Garis Netral Penampang Jatuh pada Pelat .....        | 215 |
| Gambar 4.17 | Garis Netral Penampang Jatuh Pada badan Profil ..... | 218 |
| Gambar 4.18 | Letak Stud pada Penampang Profil .....               | 224 |
| Gambar 4.19 | Bidang Momen B35 Akibat Kombinasi Beban 2 .....      | 225 |
| Gambar 4.20 | Gaya geser B35 Akibat Kombinasi beban 2 .....        | 225 |
| Gambar 4.21 | Beban Merata B35 Akibat Beban Terfaktor .....        | 226 |
| Gambar 4.22 | Bidang Momen B35 .....                               | 229 |
| Gambar 4.23 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A1 .....             | 229 |
| Gambar 4.24 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A2 .....             | 230 |
| Gambar 4.25 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A3 .....             | 231 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| Gambar 4.26 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A4 .....              | 232 |
| Gambar 4.27 | Pembebanan Akibat Momen .....                         | 233 |
| Gambar 4.28 | Bidang Momen Kondisi Baru .....                       | 235 |
| Gambar 4.29 | Denah Lantai 8 (Balok yang Ditinjau) .....            | 237 |
| Gambar 4.30 | Garis Netral Penampang Jatuh dalam Pelat .....        | 238 |
| Gambar 4.31 | Letak Strud Pada Penampang Melintang Profil .....     | 243 |
| Gambar 4.32 | Bidang Momen B98 Akibat Kombinasi Beban 2 .....       | 244 |
| Gambar 4.33 | Gaya Geser B98 Akibat Kombinasi Beban 2 .....         | 244 |
| Gambar 4.34 | Beban Merata B98 Akibat Beban Terfaktor .....         | 244 |
| Gambar 4.35 | Bidang Momen B98 .....                                | 245 |
| Gambar 4.36 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A1 .....              | 245 |
| Gambar 4.37 | Bidang Momen Untuk Mencari Gaya A2 .....              | 246 |
| Gambar 4.38 | Pembebanan Akibat Momen .....                         | 247 |
| Gambar 4.39 | Bidang Momen Kondisi Baru.....                        | 249 |
| Gambar 4.40 | Letak Link yang Direncanakan – Denah Lantai 8 .....   | 250 |
| Gambar 4.41 | Garis Netral Penampang Jatuh Dalam Badan Profil ..... | 251 |
| Gambar 4.42 | Garis Netral Penampang Jatuh Pada Badan Profil .....  | 257 |
| Gambar 4.43 | Sudut Rotasi Link .....                               | 260 |
| Gambar 4.44 | Pengaku Balok Link .....                              | 261 |
| Gambar 4.45 | Letak Stud Pada Penampang Melintang Profil .....      | 264 |
| Gambar 4.46 | Denah Lantai Base (Kolom yang Ditinjau) .....         | 275 |
| Gambar 4.47 | Letak Kolom dan Balok yang Ditinjau .....             | 276 |
| Gambar 4.48 | Alignment Chart untuk Menghitung K arah $x$ .....     | 277 |
| Gambar 4.49 | Alignment Chart untuk Menghitung K arah $y$ .....     | 279 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Gambar 5.1  | Perencanaan Sambungan .....                          | 284 |
| Gambar 5.2  | Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Induk ..... | 287 |
| Gambar 5.3  | Letak dan Jarak Antar Baut .....                     | 290 |
| Gambar 5.4  | Perencanaan Sambungan Balok Anak – Balok Anak .....  | 299 |
| Gambar 5.5  | Letak dan Jarak Antar Baut .....                     | 302 |
| Gambar 5.6  | Perencanaan Sambungan Bresing dan Balok Anak .....   | 310 |
| Gambar 5.7  | Letak Keliling Las Pada Sambungan .....              | 312 |
| Gambar 5.8  | Perencanaan Sambungan Link dan Balok Induk .....     | 316 |
| Gambar 5.9  | Sambungan Bresing Terhadap Kolom dan Balok Induk.... | 333 |
| Gambar 5.10 | Perencanaan Sambungan Balok Induk dan Kolom .....    | 359 |
| Gambar 5.11 | Jarak Antar Baut dan Gaya Gaya Pada Baut .....       | 385 |
| Gambar 5.12 | Perencanaan Base Plate .....                         | 391 |
| Gambar 5.13 | Gaya Pada Base Plate .....                           | 395 |

## DAFTAR TABEL

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1  | Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Non Gedung              |    |
|            | Untuk Beban Gempa .....                                     | 11 |
| Tabel 2.2  | Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ ) .....                      | 13 |
| Tabel 2.3  | Koefisien Situs ( $F_a$ ) .....                             | 17 |
| Tabel 2.4  | Koefisien Situs ( $F_v$ ) .....                             | 18 |
| Tabel 2.5  | Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons       |    |
|            | Percepatan Pada Perioda Pendek .....                        | 21 |
| Tabel 2.6  | Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons       |    |
|            | Percepatan Pada Perioda 1 Detik .....                       | 22 |
| Tabel 2.7  | Koefisien untuk Batas Atas Pada Perioda yang Dihitung ..... | 23 |
| Tabel 2.8  | Nilai Parameter Perioda Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....      | 23 |
| Tabel 2.9  | Faktor R, Cd dan $\Omega$ Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa   |    |
|            | (Sistem Rangka Bresing Baja) .....                          | 25 |
| Tabel 2.10 | Simpangan Antar Lantai Ijin $\Delta_a^{a,b}$ .....          | 26 |
| Tabel 2.11 | Rasio Tebak Terhadap Lebar : Elemen Tekan Komponen          |    |
|            | Struktur Menahan Lentur .....                               | 32 |
| Tabel 2.12 | Klasifikasi Jarak Pengaku Antara dan Kapasitas Rotasi Link  |    |
|            | (AISC 2005) .....   | 45 |
| Tabel 2.13 | Jarak Tepi Minimum Baut dari Pusat Lubang ke Tepi Bagian    |    |
|            | yang Disambung .....  | 67 |
| Tabel 2.14 | Ukuran Minimum Las Sudut .....                              | 68 |
| Tabel 3.1  | Penulangan Pelat yang Digunakan .....                       | 91 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabel 3.2  | Ukuran Tulangan <i>Wire Mesh</i> ..... | 91  |
| Tabel 3.3  | Berat balok Induk Lantai Atap .....    | 96  |
| Tabel 3.4  | Berat Balok Anak Lantai Atap .....     | 97  |
| Tabel 3.5  | Berat Dinding Arah x dan y .....       | 97  |
| Tabel 3.6  | Total Beban Mati Atap .....            | 98  |
| Tabel 3.7  | Berat Balok Induk Lantai 16 .....      | 100 |
| Tabel 3.8  | Berat Balok Anak Lantai 16 .....       | 101 |
| Tabel 3.9  | Berat Bresing Lantai 16 .....          | 102 |
| Tabel 3.10 | Berat Kolom Lantai 16 .....            | 103 |
| Tabel 3.11 | Berat Dinding Lantai 16 .....          | 103 |
| Tabel 3.12 | Total Berat Beban Mati Lantai 16 ..... | 104 |
| Tabel 3.13 | Berat Balok Induk Lantai 15 .....      | 106 |
| Tabel 3.14 | Berat Balok Anak Lantai 15 .....       | 107 |
| Tabel 3.15 | Berat Bresing Lantai 15 .....          | 109 |
| Tabel 3.16 | Berat Kolom Lantai 15 .....            | 109 |
| Tabel 3.17 | Berat Dinding Lantai 15 .....          | 109 |
| Tabel 3.18 | Total Berat Beban Mati Lantai 15 ..... | 110 |
| Tabel 3.19 | Berat Balok Induk Lantai 14 .....      | 112 |
| Tabel 3.20 | Berat Balok Anak Lantai 14 .....       | 113 |
| Tabel 3.21 | Berat Bresing Lantai 14 .....          | 114 |
| Tabel 3.22 | Berat Kolom Lantai 14 .....            | 115 |
| Tabel 3.23 | Berat Dinding Lantai 14 .....          | 115 |
| Tabel 3.24 | Total Berat Beban Mati Lantai 14 ..... | 116 |
| Tabel 3.25 | Berat Balok Induk Lantai 13 .....      | 118 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabel 3.26 | Berat Balok Anak Lantai 13 .....       | 119 |
| Tabel 3.27 | Berat Bresing Lantai 13 .....          | 120 |
| Tabel 3.28 | Berat Kolom Lantai 13 .....            | 120 |
| Tabel 3.29 | Berat Dinding Lantai 13 .....          | 121 |
| Tabel 3.30 | Total Berat Beban Mati Lantai 13 ..... | 122 |
| Tabel 3.31 | Berat Balok Induk Lantai 7 .....       | 124 |
| Tabel 3.32 | Berat Balok Anak Lantai 7 .....        | 125 |
| Tabel 3.33 | Berat Bresing Lantai 7 .....           | 126 |
| Tabel 3.34 | Berat Kolom Lantai 7 .....             | 127 |
| Tabel 3.35 | Berat Dinding Lantai 7 .....           | 127 |
| Tabel 3.36 | Total Berat Beban Mati Lantai 7 .....  | 128 |
| Tabel 3.37 | Berat Balok Induk Lantai 6 .....       | 130 |
| Tabel 3.38 | Berat Balok Anak Lantai 6 .....        | 131 |
| Tabel 3.39 | Berat Bresing Lantai 6 .....           | 132 |
| Tabel 3.40 | Berat Kolom Lantai 6 .....             | 132 |
| Tabel 3.41 | Berat Dinding Lantai 6 .....           | 133 |
| Tabel 3.42 | Total Berat Beban Mati Lantai 6 .....  | 134 |
| Tabel 3.43 | Berat Balok Induk Lantai 5 .....       | 136 |
| Tabel 3.44 | Berat Balok Anak Lantai 5 .....        | 137 |
| Tabel 3.45 | Berat Bresing Lantai 5 .....           | 138 |
| Tabel 3.46 | Berat Kolom Lantai 5 .....             | 138 |
| Tabel 3.47 | Berat Dinding Lantai 5 .....           | 139 |
| Tabel 3.48 | Total Berat Beban Mati Lantai 5 .....  | 140 |
| Tabel 3.49 | Berat Balok Induk Lantai 4 .....       | 142 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabel 3.50 | Berat Balok Anak Lantai 4 .....        | 143 |
| Tabel 3.51 | Berat Bresing Lantai 4 .....           | 144 |
| Tabel 3.52 | Berat Kolom Lantai 4 .....             | 144 |
| Tabel 3.53 | Berat Dinding Lantai 4 .....           | 145 |
| Tabel 3.54 | Total Berat Beban Mati Lantai 4 .....  | 146 |
| Tabel 3.55 | Berat Balok Induk Lantai 3 .....       | 148 |
| Tabel 3.56 | Berat Balok Anak Lantai 3 .....        | 149 |
| Tabel 3.57 | Berat Bresing Lantai 3 .....           | 150 |
| Tabel 3.58 | Berat Kolom Lantai 3 .....             | 150 |
| Tabel 3.59 | Berat Dinding Lantai 3 .....           | 151 |
| Tabel 3.60 | Total Berat Beban Mati Lantai 3 .....  | 151 |
| Tabel 3.61 | Berat Balok Induk Lantai 2 .....       | 154 |
| Tabel 3.62 | Berat Balok Anak Lantai 2 .....        | 155 |
| Tabel 3.63 | Berat Bresing Lantai 2 .....           | 156 |
| Tabel 3.64 | Berat Kolom Lantai 2 .....             | 156 |
| Tabel 3.65 | Berat Dinding Lantai 2 .....           | 156 |
| Tabel 3.66 | Total Berat Beban Mati Lantai 2 .....  | 157 |
| Tabel 3.67 | Berat Balok Induk Lantai 1 .....       | 159 |
| Tabel 3.68 | Berat Balok Anak Lantai 1 .....        | 160 |
| Tabel 3.69 | Berat Bresing Lantai 1 .....           | 161 |
| Tabel 3.70 | Berat Kolom Lantai 1 .....             | 162 |
| Tabel 3.71 | Berat Dinding Lantai 1 .....           | 162 |
| Tabel 3.72 | Total Berat Beban Mati Lantai 1 .....  | 163 |
| Tabel 3.73 | Total Berat beban Seluruh Lantai ..... | 164 |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabel 3.74 | Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung                         |     |
|            | Untuk Beban Gempa .....  | 165 |
| Tabel 3.75 | Faktor Keutamaan Gempa .....   | 166 |
| Tabel 3.76 | Klasifikasi Kelas Situs tanah .....                                    | 168 |
| Tabel 3.77 | Koefisien Situs $F_a$ .....  | 169 |
| Tabel 3.78 | Koefisien Situs $F_v$ .....  | 169 |
| Tabel 3.79 | Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons                  |     |
|            | Percepatan pada Perioda Pendek .....                                   | 171 |
| Tabel 3.80 | Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons                  |     |
|            | Percepatan pada Perioda 1 Detik .....                                  | 171 |
| Tabel 3.81 | Nilai $S_a$ untuk $T < T_0$ .....                                      | 172 |
| Tabel 3.82 | Nilai $S_a$ untuk $T_s < T < 1.0$ .....                                | 173 |
| Tabel 3.83 | Koefisien untuk Batas Akhir Pada Perioda yang Dihitung .....           | 174 |
| Tabel 3.84 | Koefisien Untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung .....            | 174 |
| Tabel 3.85 | Faktor $R$ , $C_d$ dan $\Omega_0$ Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa .... | 175 |
| Tabel 3.86 | Faktor Distribusi Vertikal .....                                       | 178 |
| Tabel 3.87 | Gaya Gempa Lateral per Lantai .....                                    | 179 |
| Tabel 3.88 | Nilai Pusat Massa dan Pusat Kekakuan (Output <i>ETABS</i>              |     |
|            | 2015) .....  | 180 |
| Tabel 3.89 | Eksentrisitas .....  | 181 |
| Tabel 3.90 | Eksentrisitas Rencana ( $ed$ ) .....                                   | 181 |
| Tabel 3.91 | Koordinat Pusat Massa .....  | 182 |
| Tabel 3.92 | Koordinat Pusat Massa .....  | 182 |



|            |  |     |
|------------|--|-----|
| Tabel 3.93 | Simpangan Horizontal Struktur Arah $x$ dan $y$ ..... | 184 |
| Tabel 3.94 | Kontrol Simpangan Anatar Lantai arah $x$ .....       | 187 |
| Tabel 3.95 | Kontrol Simpangan Anatar Lantai arah $y$ .....       | 188 |
| Tabel 3.96 | Kontrol Simpangan Struktur .....                     | 191 |
| Tabel 4.1  | Titik Berat Terhadap Sisi Bawah Penampang .....      | 194 |
| Tabel 4.2  | Titik Berat Terhadap Garis Netral Komposit .....     | 195 |
| Tabel 4.3  | Lebar Efektif Balok Tepi .....                       | 196 |
| Tabel 4.4  | Momen Inersia Balok Induk Komposit (Tepi) .....      | 197 |
| Tabel 4.5  | Titik Berat Terhadap Sisi Bawah Penampang .....      | 199 |
| Tabel 4.6  | Titik Berat Terhadap Garis Netral Komposit .....     | 200 |
| Tabel 4.7  | Lebar Efektif Balok Tepi .....                       | 201 |
| Tabel 4.8  | Momen Inersia Balok Induk Komposit (Tepi) .....      | 202 |
| Tabel 4.9  | Titik Berat Terhadap Sisi Bawah Penampang .....      | 205 |
| Tabel 4.10 | Titik Berat Terhadap Garis Netral Komposit .....     | 206 |
| Tabel 4.11 | Lebar Efektif Balok Tepi .....                       | 207 |
| Tabel 4.12 | Momen Inersia Balok Induk Komposit (Tepi) .....      | 208 |
| Tabel 4.13 | Titik Berat Terhadap Sisi Bawah Penampang .....      | 210 |
| Tabel 4.14 | Titik Berat Terhadap Garis Netral Komposit .....     | 211 |
| Tabel 4.15 | Lebar Efektif Balok Tepi .....                       | 212 |
| Tabel 4.16 | Momen Inersia Balok Induk Komposit (Tepi) .....      | 213 |
| Tabel 4.17 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tekan .....    | 219 |
| Tabel 4.18 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tarik .....    | 219 |
| Tabel 4.19 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tarik .....    | 254 |
| Tabel 4.20 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tekan .....    | 254 |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabel 4.21 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tekan .....     | 257 |
| Tabel 4.22 | Titik Berat Penampang Komposit Daerah Tarik .....     | 258 |
| Tabel 5.1  | Titik <i>Centroid</i> Plat Buhul .....                | 347 |
| Tabel 5.2  | Tabel Jarak Pada Baut .....                           | 385 |
| Tabel 5.3  | Tabel Gaya dan Jarak Pada Baut (sumbu $x - x$ ) ..... | 387 |
| Tabel 5.4  | Tabel Jarak Pada Baut .....                           | 388 |
| Tabel 5.5  | Tabel Gaya dan Jarak Pada Baut (sumbu $y - y$ ) ..... | 390 |

## DAFTAR GRAFIK

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Grafik 3.1 | Desain Respon Spektrum .....                  | 173 |
| Grafik 3.2 | Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah $x$ ..... | 189 |
| Grafik 3.3 | Kontrol Simpangan Antar Lantai Arah $y$ ..... | 190 |

## DAFTAR NOTASI

|               |  |
|---------------|--|
| $I_e$         | = Faktor Keutamaan Gempa. (Bab 2.3.1)                                    |
| $S_s$         | = Percepatan batuan dasar pada perioda pendek (Bab 2.3.2)                |
| $S_I$         | = Percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik (Bab 2.3.2)               |
| $S_{MS}$      | = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek (Bab 2.3.3)  |
| $S_{MI}$      | = Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (Bab 2.3.3) |
| $S_{DS}$      | = percepatan spectral desain untuk perioda pendek (Bab 2.3.3)            |
| $S_{DI}$      | = percepatan spectral desain untuk perioda 1 detik (Bab 2.3.3)           |
| $V$           | = Geser dasar seismic (Bab 2.3.7)  |
| $C_s$         | = Koefisien respon seismic (Bab 2.3.7)                                   |
| $W$           | = Berat seismic efektif (Bab 2.3.7)                                      |
| $C_d$         | = Faktor amplifikasi defleksi (Bab 2.3.8)                                |
| $\delta_{xe}$ | = Defleksi antar lantai (Bab 2.3.8)                                      |
| $M_u$         | = Momen lentur terfaktor (Bab 2.5.2)                                     |
| $M_n$         | = Momen nominal dari momen lentur penampang (Bab 2.5.2)                  |
| $E$           | = Modulus Elastisitas Baja (Bab 2.5.2 dan 2.5.3)                         |
| $f_y$         | = Kuat Leleh Baja (Bab 2.5.2)  |
| $b$           | = Lebar sayap penampang profil WF (Bab 2.5.2)                            |
| $t_f$         | = Tebal sayap penampang profil WF (Bab 2.5.2)                            |
| $h$           | = Tinggi penampang profil WF (Bab 2.5.2)                                 |
| $t_w$         | = Tebal badan penampang profil WF (Bab 2.5.2)                            |
| $h_e$         | = Tinggi bersih badan profil WF (Bab 2.5.2)                              |

$\lambda_p$  = Parameter batas kelangsingan untuk elemen kompak (Bab 2.5.2)  
 $\lambda_r$  = Parameter batas kelangsingan untuk elemen non kompak (Bab 2.5.2)  
 $S_x$  = Modulus penampang elastis pada sumbu  $x$  (Bab 2.5.2)  
 $Z_x$  = Modulus penampang plastis pada sumbu  $x$  (Bab 2.5.2)  
 $V_u$  = Kuat geser terfaktor (Bab 2.5.3)  
 $V_n$  = Kuat geser nominal (Bab 2.5.3)  
 $A_w$  = Luas badan bruto penampang profil WF (Bab 2.5.3)  
 $K_n$  = Koefisien tekuk geser (Bab 2.5.3)  
 $P_u$  = Kuat perlu aksial akibat beban terfaktor (Bab 2.5.4)  
 $P_n$  = Kuat nominal aksial penampang (Bab 2.5.4)  
 $A_g$  = Luas bruto komponen struktur (Bab 2.5.4)  
 $A_e$  = Luas neto efektif (Bab 2.5.4)  
 $f_u$  = kuat tarik minimum penampang Baja (Bab 2.5.4)  
 $L$  = Panjang Batang Tekuk (Bab 2.5.5)  
 $K$  = Faktor panjang efektif (Bab 2.5.5)  
 $r$  = Radius girasi penampang (Bab 2.5.5)  
 $F_e$  = Tegangan tekuk kritis elastis (Bab 2.5.5)  
 $V_p$  = Kapasitas geser plastis penampang (Bab 2.5.7)  
 $M_p$  = Momen plastis penampang (Bab 2.5.7)  
 $e$  = Panjang Balok Link (Bab 2.5.7)  
 $\gamma_p$  = Sudut rotasi Link (radian) (Bab 2.5.7)  
 $\Delta_M$  = Simpang inelastik maksimum antara lantai (Bab 2.5.7)  
 $b_{eff}$  = Lebar efektif balok komposit (Bab 2.5.8)  
 $a$  = Daerah tekan efektif plat beton (Bab 2.5.8)

$f'_c$  = Kuat tekan beton (Bab 2.5.8)  
 $t_s$  = Tebal plat beton (Bab 2.5.8)  
 $b_{tr}$  = Lebar transformasi plat beton (Bab 2.5.8)  
 $A_{tr}$  = Luas transformasi plat beton (Bab 2.5.8)  
 $I_{tr}$  = Momen Inersia penampang transformasi (Bab 2.5.8)  
 $E_c$  = Modulus elastisitas beton (Bab 2.5.8)  
 $A_s$  = Luas penampang balok baja (Bab 2.5.8)  
 $Y_{na}$  = Garis netral penampang komposit (Bab 2.5.8)  
 $Y_t$  = garis netral penampang baja (Bab 2.5.8)  
 $S_{trc}$  = Modulus elastisitas penampang transformasi (Bab 2.5.8)  
 $S_{trt}$  = Modulus elastisitas penampang baja (Bab 2.5.8)  
 $D$  = diameter tulangan longitudinal plat (Bab 2.5.8)  
 $N$  = Jumlah tulangan longitudinal plat dalam beff (Bab 2.5.8)  
 $f_{ijin}$  = Lendutan yang diijinkan (Bab 2.5.8)  
 $Q_n$  = Kuat geser nominal stud (Bab 2.5.8)  
 $A_{sa}$  = Luas penampang dari angkur steel headed stud (Bab 2.5.8)  
 $P$  = Jarak antar stud (Bab 2.5.8)  
 $A_b$  = Luas penampang 1 baut (Bab 2.5.9)  
 $L_w$  = Panjang las (Bab 2.7)  
 $A_{we}$  = Luas las efektif (Bab 2.7)  
 $f_{nw}$  = teganga nominal las (Bab 2.7)  
 $B$  = Lebar Plat Landasan (Bab 2.9)



## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1729-2015*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1726-2013*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung SNI 1727-2013*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.

Pusat Penelitian dan Perkembangan Pemukiman, Peta Zonasi Gempa Indonesia

C.G. Salmon and J.E. Johnson, 1992, *Struktur Baja Desain dan Perilaku* (dengan penekanan pada LRFD), Gramedia Pustaka Utama

Indarto, Himawan, dkk. 2013. *Aplikasi SNI Gempa 1726 : 2012 for Dummies*. Semarang. BDF

Budiono, Bambang, dkk. *Kajian Numerik Terhadap Kinerja Link Geser dengan Pengaku Diagonal pada Struktur Rangka Baja Berpenopang Eksentrik (EBF)*, Pameran dan Seminar HAKI 2010.

Stiawan Agus.2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Sesuai SNI 03-1729-2002)*. Jakarta. Erlangga



## ABSTRAKSI

**“STUDI PERENCANAAN PORTAL DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM ENCASED DAN BALOK CASTELLA METODE LRFD ANALISA GEMPA DINAMIS PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN TERPADU II FK UB – RSSA MALANG”**, Oleh : Nando Risky Rahmadhani (Nim : 12.21.078), Pembimbing I : Ir. Ester Priskasari , M.T. Pembimbing II : Ir. Bambang Wedyantadji, M.T. Program Studi Teknik Sipil S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

---

Kebutuhan akan perencanaan struktur yang tidak hanya mampu menahan beban gravitasi tetapi juga beban lateral (gempa) mengingat Indonesia merupakan wilayah rawan gempa. Bangunan bertingkat memiliki resiko *displacement* yang dapat terjadi akibat beban gempa. Sehingga suatu struktur dituntut agar memiliki system struktur yang mampu mempertahankan gedung saat terjadi gempa.

Penggunaan balok castella dan kolom encased merupakan suatu alternatif sebagai pengembangan dari profil baja standart sehingga memiliki sifat daktilitas namun juga bersifat kaku. Pembuatan balok castella dilakukan dengan memotong profil baja standart secara zig-zag sepanjang garis tengahnya kemudian dilas menjadi satu sehingga akan menghasilkan profil yang lebih tinggi dengan berat yang lebih ringan dari profil awalnya. Sedangkan kolom encased merupakan konstruksi komposit (gabungan) baja beton dimana profil baja WF dibungkus beton sehingga akan menghasilkan kelakuan dan kemampuan dalam menerima beban tekan yang lebih besar. Dalam kajian ini mengambil objek studi yakni gedung Pendidikan Terpadu II FK UB – RSSA Malang dengan bentang memanjang 35 m dan bentang melintang 15 m dan tinggi gedung 36 m Perencanaan struktur di sesuaikan dengan peraturan SNI 1726-2012 dan SNI 1729-2015 dengan metode LRFD. Pemodelan dan analisa struktur menggunakan program bantu ETABS 2015.

Hasil yang diperoleh dari perencanaan ulang, struktur utama menggunakan profil baja Castella Beam 600x200x8x16 untuk balok induk, Castella Beam 450x150x6,5x9 untuk balok anak, Castella Beam 300x100x5,5x8 untuk balok cucu dan KC 588x300x12x20 untuk kolom. Sambungan menggunakan dia penyambung yakni baut dengan mutu A325 diameter 7/8 in, sambungan las menggunakan elektroda 7014 dengan tebal las bervariasi yakni 6mm dan 10mm. Base plate menggunakan ukuran 800mm x 800 mm dengan ketebalan 30 mm, kedalaman angkur 800 mm dan jumlah angkur 8 berdiameter 3/4 in.

*Kata Kunci : Balok Castella, Kolom Encased, Metode LRFD*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Penggunaan baja dan beton sebagai bahan konstruksi begitu dominan dalam perkembangan teknologi struktrur bangunan masa kini, begitu pula dengan ditemukannya metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) yang memperbarui dari metode sebelumnya yakni metode ASD (Allowable Strength Design) atau konsep tegangan ijin. Dengan filosofi desain LRFD atau keadaan batas cenderung di lapangan diperoleh desain yang lebih ekonomis. Hal ini hendaknya perlu menjadi perhatian bagi para sarjana teknik sipil untuk terus mengkaji lebih mendalam terutama mengenai karakteristik metode LRFD dalam hubungannya dengan menganalisis kolom encased dan balok castella.

Metode komposit baja beton (Encased) adalah suatu alternatif metode konstruksi yang memanfaatkan kebaikan baja yang kuat terhadap tarik dan beton yang kuat terhadap tekan. Dan balok castella sendiri adalah metode modifikasi suatu profil baja supaya didapatkan peningkatan kekuatan dan pengurangan berat suatu profil baja. Meningkatnya kekuatan pada balok castella diakibatkan peningkatan momen kelembaman karena terjadi peninggian balok yang disebabkan oleh pemotongan bagian dari balok secara berliku yang kemudian disambungkan kembali. Dengan pertimbangan estetika pola pemotongan dan penyusunan balok castella memiliki bentuk menyerupai sarang lebah dan lubang yang dihasilakn dpat dimanfaatkan sebagai tempat memasang saluran AC, saluran

listrik, saluran telepon, dan lain sebagainya. Ditinjau dari segi keamanan dan ekonomis, balok castella lebih ringan dibandingkan dengan profil aslinya dan lebih hemat didalam pemakaian bahan sehingga dapat menekan biaya proyek.

Sedangkan kolom komposit (encased) dalam suatu struktur memiliki beberapa keunggulan misalnya :

1. Ketahan terhadap api dan korosi yang lebih baik dibandingkan kolom baja biasa karena pengaruh perlindungan dari selubung beton,
2. Efek penguatan dalam melawan tekuk,
3. Kemampuan kolom encased memikul beban aksial dan lentur lebih besar dibandingkan kolom beton bertulang.

Keuntungan diatas didapat karena terlindungnya profil baja oleh beton bertulang yang menyelimutinya.

Sedangkan mengenai pembebanan dinamis, kita bisa mengetahui perilaku-perilaku struktur terhadap gerakan-gerakan yang diakibatkan oleh pergeseran tanah (kulit bumi), Gerakan-Gerakan ini cenderung berubah-ubah menurut waktu, sehingga kita bisa memindahkan gerakan-gerakan ini ke dalam pembebanan struktur yang arah horizontalnya lebih dominan dibanding arah vertikalnya. Pembebanan ini dalam suatu struktur sering disebut sebagai beban gempa.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Berapa dimensi balok dengan menggunakan *Baja Castella* yang diperlukan ?

2. Berapa dimensi kolom dengan menggunakan *Kolom Encased* yang diperlukan ?
3. Berapa penghubung geser (Shear Connector) yang dibutuhkan ?
4. Berapa jumlah baut dan las yang diperlukan pada sambungan ?
5. Berapa baut angker pada plat dasar (Base Plat) yang diperlukan ?

### **1.3 Maksud**

Maksud dari Tugas Akhir ini adalah untuk merencanakan struktur portal baja dengan menggunakan kolom encased dan balok castella yang disesuaikan dengan metode LRFD (Load and Resistance Factor Design).

### **1.4 Tujuan**

Sedangkan tujuan yang ingin di capai antara lain :

1. Mendapatkan dimensi balok dengan menggunakan *Baja Castella*.
2. Mendapatkan dimensi kolom dengan menggunakan *Kolom Encased*.
3. Mendapatkan penghubung geser (Shear Connector) pada struktur portal baja.
4. Mendapatkan jumlah baut sambungan baut dan las pada sambungan truktur portal baja.
5. Mendapatkan jumlah baut angker plat dasar (Base Plat) pada struktur portal baja.

## **1.5 Batasan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam perhitungan perencanaan struktur ini meliputi :

1. Perencanaan balok castella
2. Perencanaan kolom encased
3. Perencanaan penghubung geser (Shear Connector)
4. Perencanaan sambungan
5. Perencanaan plat dasar (Base Plat)

Dalam Penyusunan skripsi ini sepenuhnya berpedoman pada peraturan – peraturan yang berlaku di indonesia.

Peraturan dan metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG), 1987
- SNI 03 – 1729 – 2002 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung, 2002
- SNI 1729:2015 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur lain.
- SNI 1726 2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Material Baja

##### 2.1.1 Sifat Mekanis Baja

Berikut merupakan sifat – sifat mekanis baja sktruktural :

- Modulus Elastisitas, E = 200.000 MPa
- Modulus Geser, G = 80.000 MPa
- Angka Poisson ( $\mu$ ) = 0,3
- Density = 7,85 g/cc

*Catatan* : 1 Mpa = 10 kg/cm<sup>2</sup>

*Sumber* : SNI 03 – 1729 -2002 Pasal 5.1.3

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan regangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

*Tabel 2.1 Jenis Baja*

| Jenis Baja | Tegangan Putus<br>Minimum<br>$f_u$ (MPa) | Tegangan Leleh<br>Minimum<br>$f_y$ (MPa) | Regangan<br>Minimum<br>(%) |
|------------|--|--|----------------------------|
| BJ 34      | 340                                      | 210                                      | 22                         |
| BJ 37      | 370                                      | 240                                      | 20                         |
| BJ 41      | 410                                      | 250                                      | 18                         |
| BJ 50      | 500                                      | 290                                      | 16                         |
| BJ 55      | 550                                      | 410                                      | 13                         |

*Sumber* : SNI 03-1729-2002

## **2.2    Beban – Beban yang bekerja pada konstruksi**

Beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur, penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sangat sulit. Pada perencanaan konstruksi bangunan ini, beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban air hujan pada atap, dan beban gempa.

### **2.2.1    Beban Mati**

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (*SNI 1727:2013, Pasal 3*)

### **2.2.2    Beban Hidup**

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (*SNI 1727:2013, Pasal 4*)

### **2.2.3    Beban Hidup Atap**

Beban pada atap yang diakibatkan (1) pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material dan (2) selama masa layan struktur yang

diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. (SNI 1727:2013, Pasal 4)

#### 2.2.4 Beban Air Hujan

Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098(ds+dh) \quad (\text{kg/m}^2) \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :  $R$  = Beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam ( $\text{kN/m}^2$ ).

$ds$  = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam (mm).

$dh$  = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik), dalam (mm).

#### 2.2.5 Beban Gempa

Gempa bumi terjadi karena adanya pergerakan pada kera bumi yang terjadi secara tiba-tiba kemudian diikuti dengan adanya patahan/sesar. Segera setelah terjadi patahan/kerusakan batuan pada peristiwa gempa bumi, maka energi yang selama ini terakumulasi kemudian di pancarkan ke segala arah.



Beban gempa adalah beban yang ditimbulkan dari kejadian gempa bumi ke arah horizontal dan vertikal, dimana gerakan vertikalnya lebih kecil dari gerakan horizontalnya.

Analisis gempa adalah untuk menentukan pembagian gaya geser tingkat akibat gerakan tanah oleh gempa.

Menurut SNI 1727 (2012) analisa dinamis harus dilakukan untuk gedung-gedung berikut :

1. Gedung-gedung yang strukturnya tidak beraturan,
2. Gedung-gedung dengan keadaan loncatan-loncatan bidang muka besar,
3. Gedung-gedung dengan kekakuan yang tidak merata,
4. Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40m,
5. Gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

#### **2.2.5.1 Analisis Ragam Respons Spectrum**

Respons spektrum adalah suatu pemetaan (plot) atau grafik yang menunjukkan variasi dari harga maksimum terhadap suatu parameter struktur akibat dilanda gempa bumi. Parameter tersebut dapat berupa perpindahan atau displasemen ( $S_d$ ), kecepatan ( $S_v$ ), percepatan ( $S_a$ ) terhadap waktu getar suatu sistem yang dipengaruhi beban tertentu. Besarnya parameter ini tergantung pada :

- Waktu getar struktur (tabel)

- Harga peredaman ( $\xi$ )
- Base acceleration (percepatan tanah)

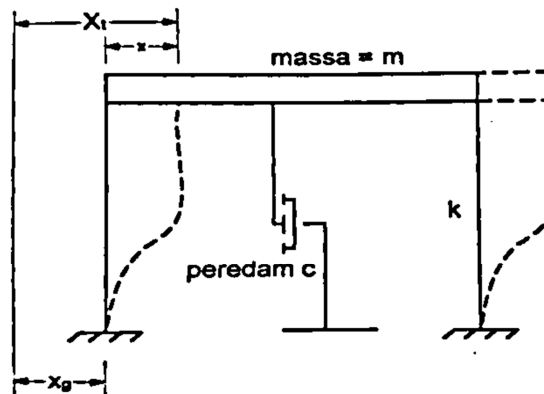
Pembentukan plot ini membutuhkan solusi sistem berderajat kebebasan tunggal untuk harga-harga frekuensi natural dan rasio redaman pada daerah yang ditinjau. Setiap solusi menghasilkan hanya satu titik (harga maksimum). dari respons spektrum. Sejumlah respons spektrum harus dianalisis untuk dapat memplot secara lengkap setiap respons spektrum. Sekali lengkungan ini terbentuk, akan dapat dipakai untuk pembebanan yang ditinjau dan dianalisis untuk perencanaan struktur dipengaruhi beban dinamis, disederhanakan hanya menjadi perhitungan frekuensi natural sistem dan penggunaan respons spektrum.

Analisis dinamis spectrum dengan model sistem derajat kebebasan banyak atau kebebasan-n dapat ditransformasikan menjadi persoalan pemecahan buah sistem buah sistem berderajat kebebasan tunggal.

Akibatnya, transformasi ini memperluas penggunaan respons spektrum berderajat kebebasan tunggal untuk mencari solusi sistem berderajat kebebasan berapapun.

### A. Persamaan gerak sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF)

Gerakan yang terjadi pada sistem dengan derajat kebebasan tunggal dapat diibaratkan dengan massa yang ditahan oleh pegas seperti pada gambar



Gambar 2.1 Idealisasi struktur dengan sistem derajat kebebasan tunggal

Jika Massa  $m$  diberikan perpindahan sejauh  $x$ , maka sistem akan berkeinginan untuk kembali ke kedudukan semula karena sistem mempunyai gaya pegas. Akibat adanya gesekan dengan udara, gesekan antar partikel, kelelahan dari bahan maka sistem akan berhenti pada waktunya. Gaya yang menyebabkan kehilangan energi disebut gaya peredam (damping). Persamaan selengkapnya adalah sebagai berikut :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \dots\dots\dots (2.2)$$

Analisa resiko gempa telah dilakukan untuk setiap derajat persegi dari seluruh wilayah indonesia. Dengan menghubungkan titik-titik di atas peta wilayah indonesia yang menunjukkan intensitas gempa yang sama pada suatu waktu ulang tertentu, didapat garis-garis kontur yang merupakan tempat kedudukan titik-titik

dengan sifat kegempaan yang sama. Garis-garis kontur tersebut sekaligus memberi gambaran mengenai batas-batas perubahan tingkat kegempaan dari suatu daerah ke daerah lain di seluruh wilayah Indonesia. Dengan mengambil waktu ulang peristiwa gempa 20 tahun, telah diplot garis-garis kontur di atas peta Indonesia yang menghasilkan pengwilayahan Indonesia dalam 6 wilayah gempa. Dari hasil Analisis Resiko Gempa tersebut, untuk masing-masing dari ke 6 wilayah Gempa Indonesia tersebut diketahui juga waktu ulang dari intensitas-intensitas gempa tertentu. Agar intensitas-intensitas gempa ini langsung dapat dipakai untuk keperluan perencanaan bangunan tahan gempa, maka tingkat kegempaan tersebut ditunjukkan dalam bentuk Respons Spektrum trilinear, Respons Spektrum dengan waktu ulang 200 tahun di masing-masing wilayah Gempa Indonesia, dipakai dengan respons Spektrum Gempa maksimum untuk menetapkan Respons Spektrum untuk perencanaan.

### **B. Persamaan gerak sistem derajat kebebasan banyak (MDOF)**

Derajat kebebasan suatu sistem susunan massa merupakan jumlah dari derajat kebebasan massa. Pada umumnya massa struktur suatu bangunan bila memungkinkan dapat dipusatkan pada tempat-tempat tertentu, biasanya pada tiap-tiap lantai bangunan.

Pada masing-masing derajat kebebasan, ada persamaan keseimbangan :

$$fI_1 + fD_1 + fS_1 = F_1(t)$$

$$fI_2 + fD_2 + fS_2 = F_2(t)$$

$$fI_3 + fD_3 + fS_3 = F_3(t)$$

atau dapat dituliskan dengan bentuk matrix sebagai berikut :

$$\{fS\} + \{fD\} + \{fS\} = \{F(t)\} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana besaran dari gaya-gaya tersebut adalah

$$\{fS\} = [K].\{x\} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\{fD\} = [C].\{\dot{x}\} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\{fI\} = [M].\{\ddot{x}\} \dots\dots\dots (2.6)$$

Persamaan-persamaan (2.3), (2.4), (2.5) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.6) adalah :

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{F(t)\} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dapat dilihat bahwa persamaan gerak untuk sistem derajat kebebasan banyak /MDOF (2.2.6.1-6) mempunyai bentuk yang sama dengan persamaan gerak untuk sistem derajat kebebasan tunggal/SDOF (2.2).

#### (a). Matriks Massa Struktur

Matrix massa struktur didapatkan dengan cara mengumpulkan massa struktur di suatu titik tertentu, sehingga masing-masing lantai struktur terdapat satu buah massa terpusat.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & m_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.8)$$

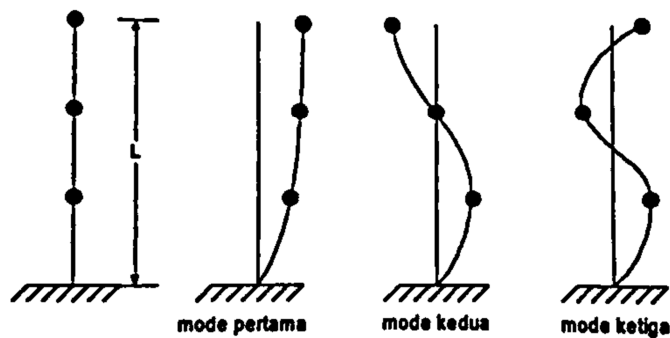
#### (b). Matriks kekakuan struktur

Penyusunan matriks kekakuan struktur berdasarkan yang terjadi pada masing-masing tingkat dan pengaruhnya terhadap gaya pada tingkat tersebut. Secara umum matrik kekakuan [K] adalah :

$$[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.9)$$

### C. Mode Shape

Akibat pergerakan tanah, struktur akan bergetar . sifat getaran ini bergantung pada pembagian massa, kekakuan konstruksi dan sifat-sifat peredaman. Mode shape atau bentuk ragam getaran tersebut berupa mode pertama dengan periode terpanjang, mode kedua, mode ketiga dan seterusnya dengan periode semakin pendek. Misalnya pada suatu portal bertingkat tiga, massa lantai dipusatkan pada masing-masing lantai yaitu  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ , maka metode shape yang terjadi seperti yang terlihat pada gambar.



Gambar 2.2 Mode getaran gempa pada struktur

#### 2.2.5.2 Analisis Respons Riwayat waktu

Analisis respon riwayat waktu harus dilakukan dengan memakai paling sedikit empat riwayat waktu dari gempa hasil pencatatan untuk menentukan riwayat waktu respons struktur terhadap gempa-gempa tersebut.

### **2.2.6 Beban Khusus**

Beban Khusus ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang telah terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan pondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus.

## **2.3 Konsep Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa**

Konsep perencanaan struktur bangunan bertingkat tinggi harus memperhitungkan kemampuannya dalam memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, di antaranya adalah beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Berdasarkan kondisi negara Indonesia, yang terletak diantara 4 lempeng benua (merupakan daerah rawan gempa), struktur boleh jadi akan mengalami pergerakan secara vertikal maupun secara lateral. Namun struktur bangunan pada umumnya memiliki faktor keamanan yang cukup dalam menahan gaya vertikal dibandingkan dengan gaya gempa lateral. Gaya gempa lateral langsung bekerja pada daerah-daerah elemen struktur yang tidak kuat yang dapat menyebabkan keruntuhan.

Berdasarkan UBC 1997, tujuan desain bangunan tahan gempa adalah untuk mencegah terjadinya kegagalan struktur dan kehilangan korban jiwa, dengan tiga kriteria standar sebagai berikut:

- 1) Ketika terjadi gempa kecil, tidak terjadi kerusakan sama sekali
- 2) Ketika terjadi gempa sedang, diperbolehkan terjadi kerusakan arsitektural tetapi bukan merupakan kerusakan structural
- 3) Ketika terjadi gempa kuat, diperbolehkan terjadinya kerusakan struktural dan nonstruktural, namun kerusakan yang terjadi tidak sampai menyebabkan bangunan runtuh.

Oleh sebab itu, perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus dapat memperhitungkan dampak dari gaya lateral yang bersifat siklis (bolak-balik) yang dialami oleh struktur selama terjadinya gempa bumi. Untuk memikul gaya lateral yang dialami oleh bangunan, struktur harus dapat memiliki daktilitas yang memadai di daerah joint atau elemen struktur tahan gempa seperti Rangka Pemikul Momen.

## **2.4 Analisa Seismik**

### **2.4.1 Menentukan Kategori Struktur Bangunan (I-IV) dan Faktor Keutamaan ( $I_e$ )**

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 2.1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 2.2



*Tabel 2.2 Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa*

| <b>Jenis Pemanfaatan</b>   | <b>Kategori Risiko</b> |
|--|------------------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>  | I                      |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan ; rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul> | II                     |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> </ul>                                  | III                    |

|  |    |
|--|----|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> |    |
| <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan</li> </ul>   | IV |

|  |  |
|--|--|
| tempat perlindungan darurat lainnya<br>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya<br>untuk tanggap darurat<br>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat<br>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat<br>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi<br>struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV. |  |
|--|--|

Sumber : Tabel 1 SNI 1726 – 2012

*Tabel 2.3. Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )*

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

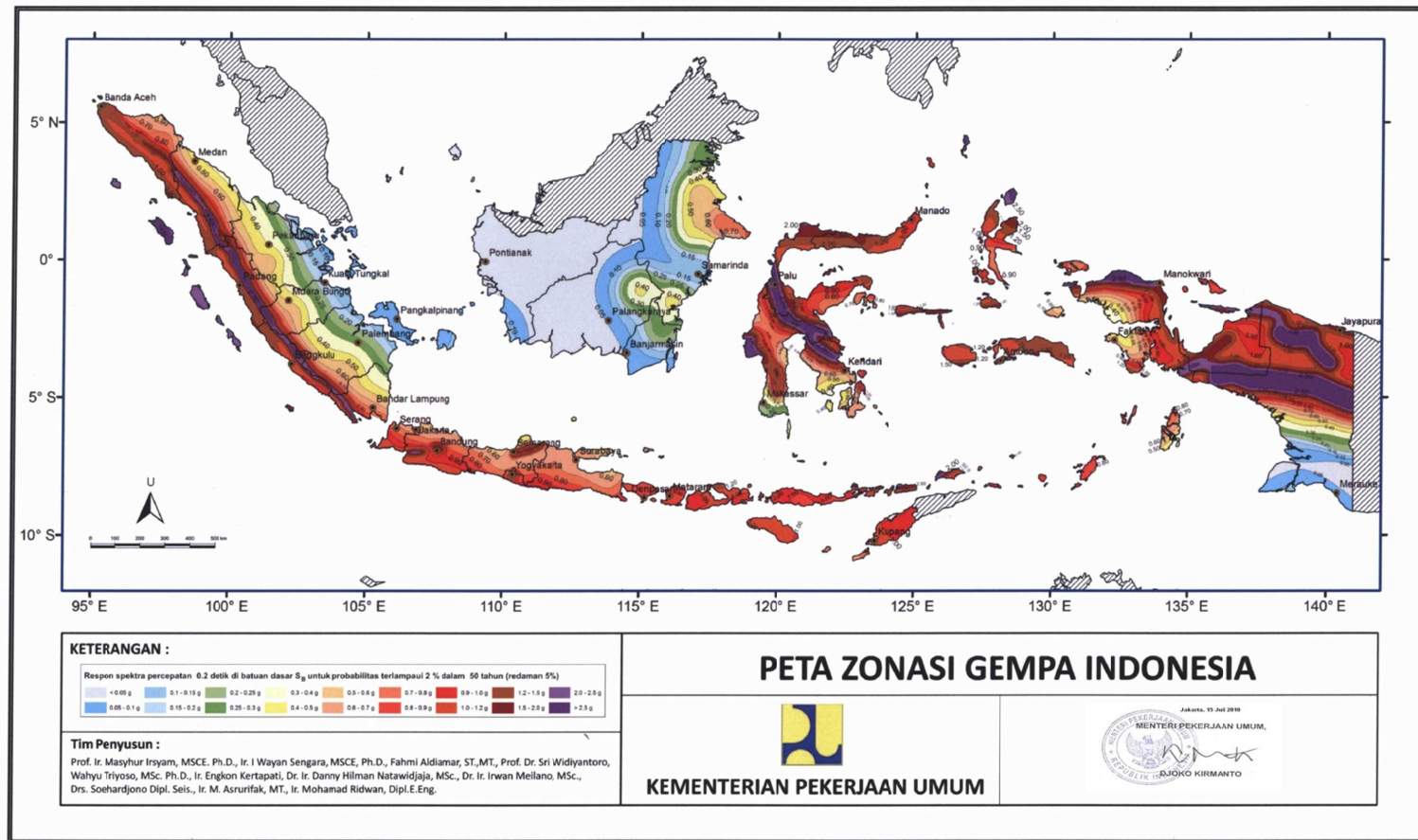
Sumber : Tabel 2 SNI 1726 – 2012

#### 2.4.2 Menentukan Parameter Percepatan Gempa ( $S_s$ , $S_1$ )

Parameter (percepatan batuan dasar pada perioda pendek  $S_s$ ) dan (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik  $S_1$ ) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun (MCER,

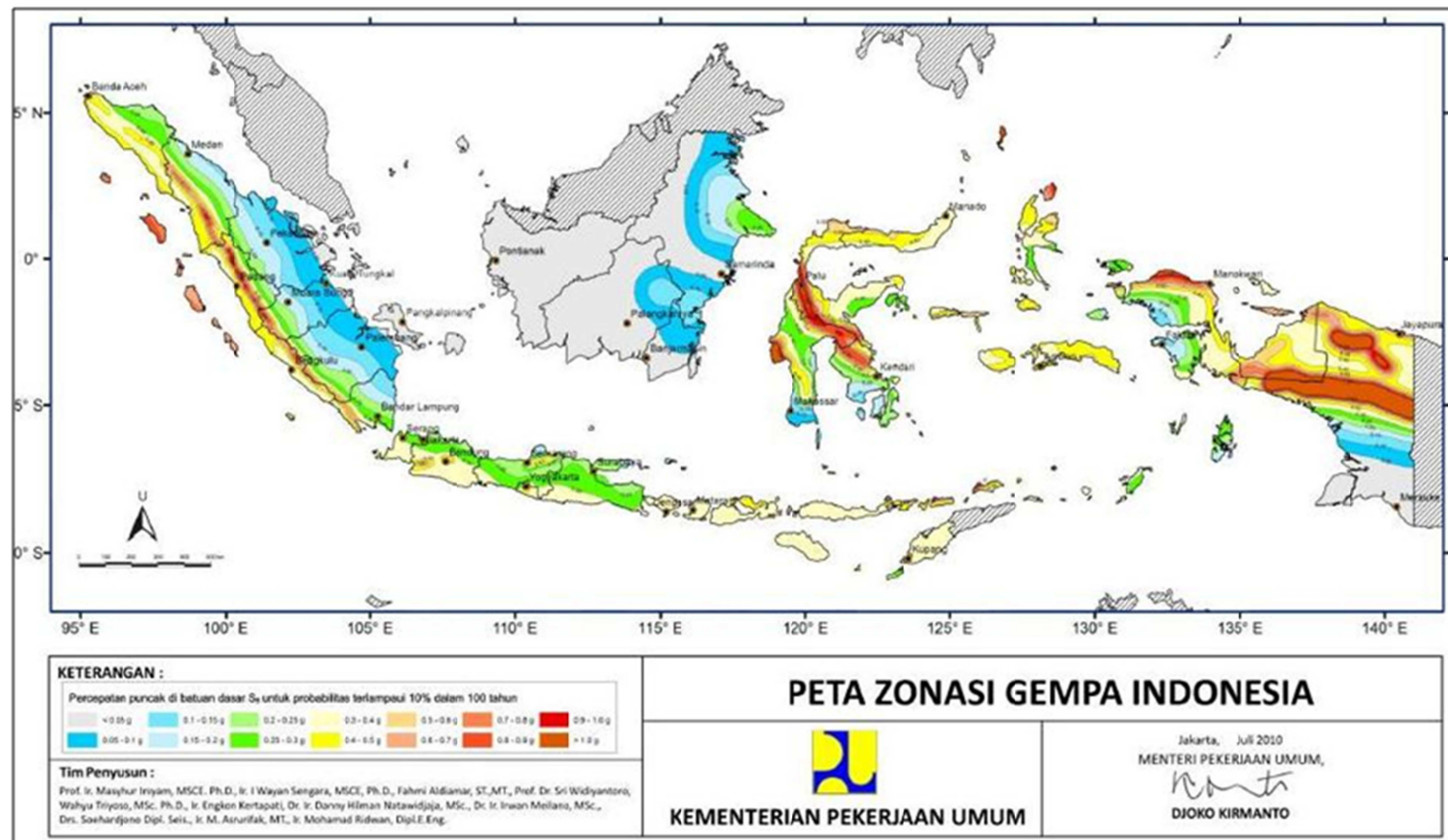
2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi.

Dalam perumusan kriteria desain seismik suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan dalam beberapa kelas situs yakni SA(batuan keras), SB (batuan), SC(tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus).



Gambar 2.3. Peta Parameter (Percepatan Batuan Dasar Pada Periode Pendek (MCER, SS))

Sumber : Pusat Penelitian dan Perkembangan Pemukiman



Gambar 2.4 Peta Parameter (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) (MCER,  $S_1$ )

Sumber : Pusat Penelitian dan Perkembangan Pemukiman

### 2.4.3 Menentukan Koefisien-Koefisien Situs dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ )

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran perioda pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana,

$S_s$  : parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek;

$S_1$  : Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik.

*Tabel 2.4. Koefisien Situs ( $F_a$ )*

| Kelas Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik ( $S_s$ ) |                |                 |                |                 |
|-------------|---|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$   | $S_s \leq 0,5$ | $S_s \leq 0,75$ | $S_s \leq 1,0$ | $S_s \leq 1,25$ |
| SA          | 0,8   | 0,8            | 0,8             | 0,8            | 0,8             |
| SB          | 1,0   | 1,0            | 1,0             | 1,0            | 1,0             |

|    |                 |     |     |     |     |
|----|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| SC | 1,2             | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6             | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5             | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS <sup>b</sup> |     |     |     |     |

Sumber : Tabel 4 SNI 1726 : 2012

- a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi
- b)  $S_s$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2.5. Koefisien Situs ( $F_v$ )

| Kelas<br>Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ )<br>terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik ( $S_1$ ) |                |                |                |                |
|----------------|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                | $S_s \leq 0,1$   | $S_s \leq 0,2$ | $S_s \leq 0,3$ | $S_s \leq 0,4$ | $S_s \leq 0,5$ |
| SA             | 0,8  | 0,8            | 0,8            | 0,8            | 0,8            |
| SB             | 1,0  | 1,0            | 1,0            | 1,0            | 1,0            |
| SC             | 1,7  | 1,6            | 1,5            | 1,4            | 1,3            |
| SD             | 2,4  | 2,0            | 1,8            | 1,6            | 1,5            |
| SE             | 3,5  | 3,2            | 2,8            | 2,4            | 2,5            |
| SF             | SS <sup>b</sup>  |                |                |                |                |

Sumber : Tabel 4 SNI 1726 : 2012

- a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi
- b)  $S_s$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Parameter percepatan spectral desain untuk perioda pendek  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \dots\dots\dots (2.13)$$



#### 2.4.4 Menentukan Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 2.5 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_o$  , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_o$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$  ;

Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$  spektrum respons percepatan desain ( $S_a$ ) diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan,

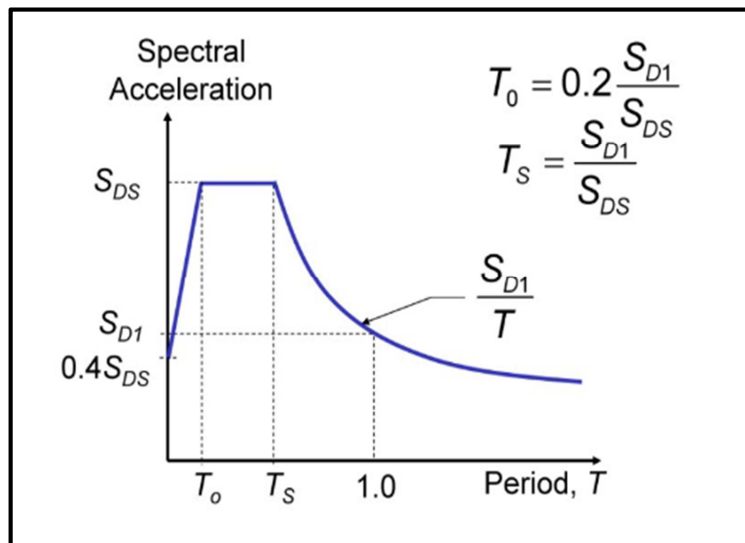
$S_{DS}$  : parameter respons spectral percepatan desain pada perioda pendek

$S_{D1}$  : parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik

$T$  : Perioda getar fundamental struktur

$$T_o = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (2.17)$$



*Gambar 2.5 Spektrum Respons Desain*

(Sumber : Indarto, Himawan. 2013)

#### 2.4.5 Menentukan Kategori Desain Seismik (A-F)

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik  $S_I$  lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dgn kategori desain seismik E.

Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik  $S_I$  lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Masing- masing bangunan dan struktur harus

ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.5 atau 2.6, terlepas dari nilai perioda fundamental getaran struktur ( $T$ ). Apabila lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai Tabel 2.5 saja, dimana berlaku semua ketentuan dibawah :

- 1) Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur ( $T_a$ ) yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1 (SNI 1726 :2012) adalah kurang dari  $0,8 T_s$
- 2) Pada masing-masing dua arah orthogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari  $T_s$ .
- 3) Persamaan 2.3.8-2 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik ( $C_s$ )
- 4) Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di pasal 7.3.1 (SNI 1726 : 2012) atau untuk diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

*Tabel 2.6. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.*

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$  | C                  | D  |
| $0,50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

Sumber :Tabel 6 SNI 1726 – 2012

*Tabel 2.7. Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik*

| Nilai $S_{DI}$              | Kategori risiko    |    |
|-----------------------------|--------------------|----|
|                             | I atau II atau III | IV |
| $S_{DI} < 0,067$            | A                  | A  |
| $0,067 \leq S_{DI} < 0,133$ | B                  | C  |
| $0,133 \leq S_{DI} < 0,20$  | C                  | D  |
| $0,20 \leq S_{DI}$          | D                  | D  |

Sumber : Tabel 7 SNI 1726 – 2012

#### 2.4.6 Batasan Perioda fundamental Struktur ( $T$ )

Perioda fundamental struktur ( $T$ ), tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dari tabel 2.7 dan perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ). sebagai alternatif pada pelaksanaan analisis untuk menentukan perioda fundamental struktur ( $T$ ) diijinkan secara langsung menggunakan perioda bangunan pendekatan ( $T_a$ ). Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan,

$h_n$  : adalah ketinggian struktur (m) dari dasar sampai tingkat tertinggi struktur

$C_t$  : ditentukan dari tabel 2.8

$x$  : ditentukan dari tabel 2.8

$$T_{max} = C_u \times T_a \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan,

$C_u$  : ditentukan dari tabel 2.7

*Tabel 2.8 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang dihitung*

| Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik ( $S_{D1}$ ) | Koefisien $C_u$ |
|--|-----------------|
| $\geq 0,4$   | 1,4             |
| 0,3  | 1,4             |
| 0,2  | 1,5             |
| 0,15   | 1,6             |
| $\leq 0,1$   | 1,7             |

Sumber : Tabel 14 SNI 1726 : 2012

*Tabel 2.9 Nilai Parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$*

| Tipe Struktur   | $C_t$               | $x$  |
|---|---------------------|------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa: |                     |      |
| Rangka Baja pemikul momen   | 0,0724 <sup>a</sup> | 0,8  |
| Rangka beton pemikul momen  | 0,0466 <sup>a</sup> | 0,9  |
| Rangka baja bresing eksentris   | 0,0731 <sup>a</sup> | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk   | 0,0731 <sup>a</sup> | 0,75 |
| Semua system struktur lainnya   | 0,0488 <sup>a</sup> | 0,75 |

Sumber : Tabel 15 SNI 1726 – 2012

#### 2.4.7 Perhitungan Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismic ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \times W \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan,

$C_s$  : koefisien respons Seismik

$W$  : Berat Seismik efektif

Koeisien respons seismic ( $C_s$ ) harus ditentukan sesuai dengan ;

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan,

$S_{DS}$  : Parameter percepatan spectrum respons desain dalam rentang perioda pendek

$R$  : faktor modifikasi respons, pada tabel 2.9

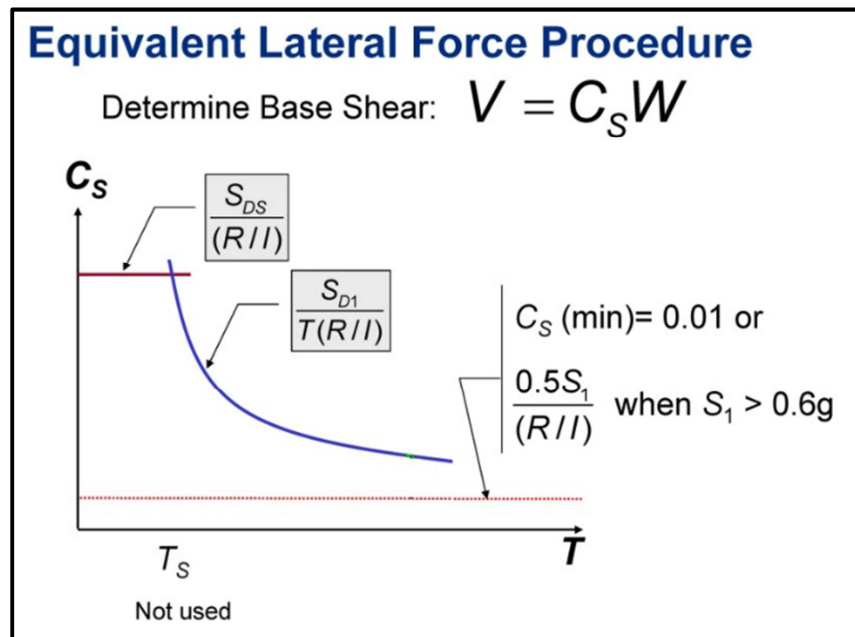
$I_e$  : faktor keutamaan gempa dalam tabel 2.2

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan 2.3.8-2 tidak perlu melebihi kuat berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \times R/I_e} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dan  $C_s$  harus tidak kurang dari,

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots (2.23)$$



*Gambar 2.6 Perhitungan Geser Dasar Seismik*

(Sumber : Indarto, Himawan. 2013)

Berat seismik efektif struktur,  $W$ , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar di bawah ini:

- 1) Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5 persen dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan);
- 2) Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar di antara berat partisi aktual atau berat daerah lantai minimum sebesar 0,48 kN/m<sup>2</sup>;
- 3) Berat operasional total dari peralatan yang permanen;
- 4) Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

*Tabel 2.10 Faktor R, Cd dan Ω untuk sistem penahan gaya gempa (Sistem Rangka Bresing Baja)*

| Sistem Penahan gaya Seismik                  | R   | Ω | Cd  | Batasan tinggi struktur, hn (m) |    |    |    |    |
|--|-----|---|-----|---------------------------------|----|----|----|----|
|  |     |   |     | Kategori Desain Seismik         |    |    |    |    |
|  |     |   |     | B                               | C  | D  | E  | F  |
| Rangka Baja dengan Bresing Eksentris         | 8   | 2 | 4   | TB                              | TB | 48 | 48 | 30 |
| Rangka Baja dengan bresing konsentris Khusus | 8   | 2 | 5   | TB                              | TB | 48 | 48 | 30 |
| Rangka Baja dengan bresing konsentris Biasa  | 3 ¼ | 2 | 3 ¼ | TB                              | TB | 10 | 10 | TI |

Sumber : Tabel 9 SNI 1726 - 2012

#### 2.4.8 Penentuan Simpangan antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C,D, E atau F yang memiliki ketidakberaturan horisontal Tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain,  $\Delta$ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa di tingkat x ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (2.24)$$



Dengan,

$C_d$  : faktor amplifikasi defleksi dalam table 2.9

$\delta_{xe}$  : defleksi

$I_e$  : Faktor keutamaan gempa

*Tabel 2.11 Simpangan Antar Lantai Ijin  $\Delta_a^{a,b}$*

| Struktur  | Kategori Risiko |               |               |
|---|-----------------|---------------|---------------|
|   | I atau II       | III           | IV            |
| Struktur, selain dari struktur dinding geser batubata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. | $0,025h_{sx}^c$ | $0,025h_{sx}$ | $0,015h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>  | $0,010h_{sx}$   | $0,010h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |
| Struktur dinding geser batu bata lainnya  | $0,007h_{sx}$   | $0,007h_{sx}$ | $0,007h_{sx}$ |
| Semua struktur lainnya  | $0,020h_{sx}$   | $0,015h_{sx}$ | $0,010h_{sx}$ |

(a)  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$

(b) Untuk system penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismic D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan

(c) Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan system dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.

(d) Struktur dimana system struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertical kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen diantara dinding geser (kopel) dapat diabaikan

Sumber : Tabel 16 SNI 1726 : 2012

## 2.5 Konsep Dasar LRFD (Load Resistance Factor Design)

Design stuktur haruslah memberikan keamanan yang cukup baik terhadap kemungkinan kelebihan beban (over load) atau kekurangan kekuatan. Desain harus memberikan cadangan kekuatan yang diperlukan akibat kemungkinan kelebihan beban dan kemungkinan kekuatan material yang rendah. Oleh karena itulah LRFD memberikan factor resistance (keamanan) dan factor beban.

Persamaan umum LRFD dituliskan :

$$\Phi R_n \geq \sum \gamma Q_i \dots\dots\dots(2.25)$$

Dimana ruas kiri mewakili factor resistance atau reduksi kekuatan ( $\Phi$ ) dikalikan dengan resistance nominal kekuatan dari beban ( $R_n$ ) sedangkan ruas kanan mewakili faktor-faktor kelebihan beban ( $\gamma$ ) dikalikan dengan beban ( $Q$ ) seperti beban mati, beban hidup dan beban angin.

### 2.5.1 Faktor Beban

Spesifikasi LRFD mengambil kombinasi-kombinasi beban terfaktorkan seperti berikut : (SNI 03-1729-2002 pasal 6.2.2 )

$$1,4D \dots\dots\dots(2.26)$$

$$1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots(2.27)$$

$$1,2D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8W) \dots\dots\dots(2.28)$$

$$1,2D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$1,2D \pm 1,0E + \gamma_L L \dots\dots\dots(2.30)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E) \dots\dots\dots(2.31)$$

Keterangan:

*D* adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap.

*L* adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

*L<sub>a</sub>* adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

*H* adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

*W* adalah beban angin

*E* adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03–1726–2012 dengan,

$$\gamma_L = 0,5 \text{ bila } L < 5 \text{ kPa, dan } \gamma_L = 1 \text{ bila } L \geq 5 \text{ kPa.}$$

Kekecualian: Faktor beban untuk *L* di dalam kombinasi pembebanan pada persamaan 2.3.1-3, 2.3.1-4, dan 2.3.1-5 harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar daripada 5 kPa.

## 2.5.2 Faktor reduksi $\phi$ untuk keadaan kekuatan batas

Tabel 2.12 Faktor reduksi  $\phi$  untuk keadaan kekuatan batas

| Kuat rencana untuk  | Faktor reduksi                       |
|---|--------------------------------------|
| Komponen struktur yang memikul lentur : <ul style="list-style-type: none"> <li>Balok</li> <li>Balok plat berdinding penuh</li> <li>Plat badan yang memikul geser</li> <li>Plat badan pada tumpuan</li> <li>Pengaku</li> </ul> | 0,90<br>0,90<br>0,90<br>0,90<br>0,90 |
| Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial : <ul style="list-style-type: none"> <li>Kuat penampang</li> <li>Kuat penampang struktur</li> </ul>  | 0,85<br>0,85                         |
| Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial : <ul style="list-style-type: none"> <li>Terhadap kuat penampang</li> <li>Terhadap kuat tarik fraktur</li> </ul>   | 0,90<br>0,75                         |
| Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi : <ul style="list-style-type: none"> <li>Kuat lentur atau geser</li> <li>Kuat tarik</li> <li>Kuat tekan</li> </ul>   | 0,90<br>0,90<br>0,85                 |
| Komponen struktur komposit : <ul style="list-style-type: none"> <li>Kuat tekan</li> <li>Kuat tumpu beton</li> <li>Lentur dengan distribusi tegangan plastis</li> <li>Lentur dengan distribusi tegangan elastis</li> </ul>     | 0,85<br>0,60<br>0,85<br>0,90         |
| Sambungan baut : <ul style="list-style-type: none"> <li>Baut yang memikul geser</li> <li>Baut yang memikul tarik</li> <li>Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik</li> <li>Lapis yang memikul tumpu</li> </ul>            | 0,75<br>0,75<br>0,75<br>0,75         |
| Sambungan las : <ul style="list-style-type: none"> <li>Las sumpul penetrasi penuh</li> <li>Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian</li> <li>Las pengisi</li> </ul>  | 0,90<br>0,75<br>0,75                 |

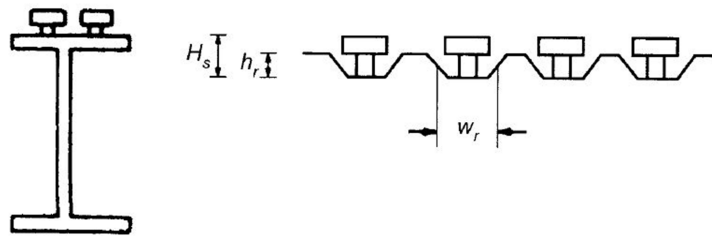
Sumber : SNI 1729-2002 Pasal 6.8

## **2.6 Deck Baja Bergelombang ( Stel Deck )**

### **2.6.1 Konsep Dasar**

Perkembangan struktur komposit dimulai dengan digunakannya deck baja gelombang, yang selain berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan deck baja juga dapat dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton mulai mengeras. Arah gelombang deck baja biasanya diletakkan tegak lurus balok penopangnya. Persyaratan deck baja gelombang dan penghubung gesernya untuk digunakan dalam komponen struktur komposit diatur di dalam SNI 03-1729-2015 pasal I3.2c. Dalam pasal ini disyaratkan :

1. Tinggi maksimum deck baja,  $h_r \leq 75 \text{ mm}$
2. Lebar rata-rata minimum dari gelombang deck,  $w_r > 50 \text{ mm}$ , lebar ini tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas deck baja.
3. Tebal pelat minimum diukur dari tepi atas deck baja = 50 mm.
4. Diameter maksimum stud yang dipakai  $\frac{3}{4} \text{ in}$  (19 mm), dan dilas langsung pada flens balok baja.
5. Tinggi minimum stud diukur dari sisi deck baja paling atas  $1\frac{1}{2} \text{ in}$  (38 mm)
6. Deck harus diangkurkan kesemua komponen struktur pendukung pada jarak tidak lebih dari 18 in (460 mm).
- 7.



Gambar 2.7 Penampang Melintang Deck Baja Gelombang.

Jika gelombang pada deck baja dipasang tegak lurus terhadap balok penopangnya, maka kuat nominal penghubung geser jenis paku harus direduksi dengan suatu faktor,  $r_s$  yang besarnya ditetapkan sebagai berikut :

$$r_s = \frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \left( \frac{w_r}{h_r} \right) \left\{ \left( \frac{H_s}{h_r} \right) - 1,0 \right\} \leq 1,0 \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana :

- $r_s$  : Faktor reduksi
- $N_r$  : Jumlah penghubung geser jenis paku pada setiap gelombang pada potongan melintang balok baja
- $H_s$  : Tinggi penghubung geser jenis paku  $\leq (h_r + 75$  mm)
- $h_r$  : Tinggi nominal gelombang deck baja
- $w_r$  : Lebar efektif gelombang deck baja

Jarak antar penghubung geser tersebut dalam arah longitudinal tidak boleh lebih dari 900 mm.

## 2.6.2 Kekuatan lentur

Plat-plat komposit dengan lantai baja dipakai pada abentang statis tertentu diantara gelagar-gelagar baja maupun sebagai bentang yang menerus. Pada

kasus yang pertama, harus diberikan tulangan negatif (tekan) diatas perlekatan untul memperkecil retak pada bagian atas plat beton. Untuk petalt-pelat menerus, bagian yang memikul momen negative direncanakan secara konvesional seperti juga pada plat-plat beton, dengan mengabaikan sumbangan tekan dari lantai baja tersebut.

Untuk lantai-lantai baja yang relatif dangkal dan plat yang tingginya cukup besar yaitu, apabila apabila tebal plat  $h$  jauh lebih besar dari tinggi lantai baja  $d$ , maka pelemahan mungkin telah menyebar pada seluruh tinggi lantai baja sebelum regangan tekan beton mencapai sebesar 0,003. Selanjutnya gaya tarik baja akan bekerja pada pusat dari penampang lantai baja.

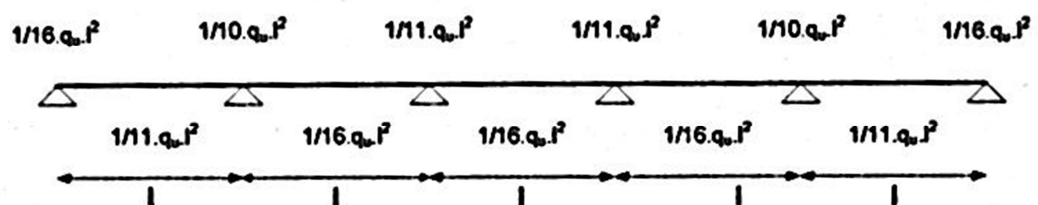
$$M_n = \phi A_s f_y (d - a/2)$$

Dimana :

$d$  = Tinggi efektif plat jarak dari bagian atas plat terhadap pusat dari lantai baja

$a$  = Tinggi dari balok tegangan persegi

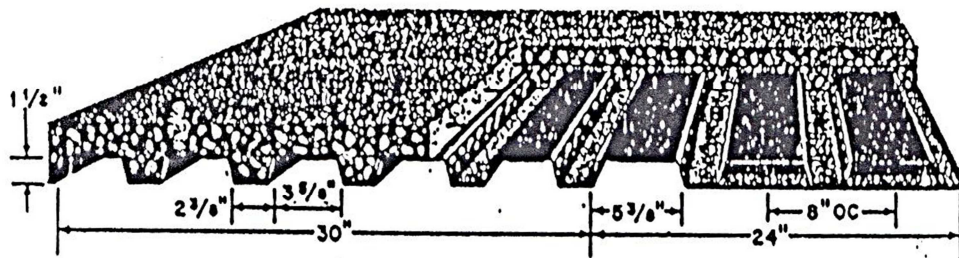
### 2.6.3 Kekuatan lentur



rencana terfaktor dan jarak kuadrat ( $q_u \cdot l^2$ ) dengan suatu koefisien. Koefisien tersebut dapat diterapkan pada persamaan pendekatan untuk struktur balok

bentang menerus dan plat penulangan satu arah. Persamaan empiris ini hanya dapat diterapkan pada struktur yang memenuhi hal-hal berikut:

1. Struktur bentang menerus (minimal ada dua bentang) dengan panjang kurang lebih sama untuk setiap dua bentang yang bersebelahan, bentang yang lebih panjang tidak boleh melampaui 20% terhadap bentang yang pendek.
2. Pembebanan berupa beban merata
3. Berdasarkan pada beban kerja, nilai maksimum perbandingan beban hidup terhadap beban mati yang diijinkan adalah 3 : 1
4. Penampang komponen struktur prismatik



*Gambar 2.8 Plat beton komposit dengan tulangan lantai baja*

## **2.7 Profil Baja Castella**

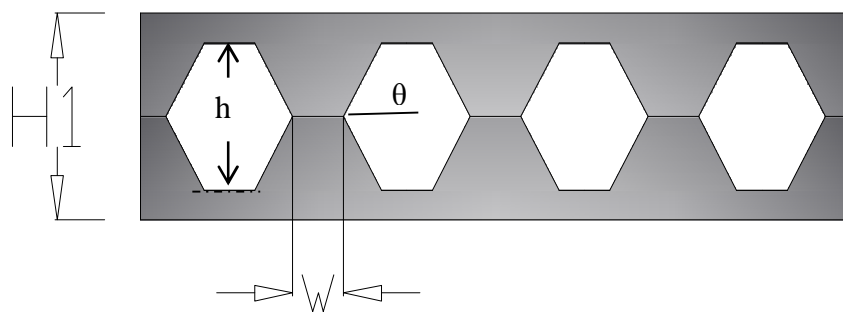
### **2.7.1 Konsep Dasar**

Saat ini banyak sekali berbagai penelitian yang dilakukan oleh para ahli untuk menemukan berbagai solusi – solusi baru dalam mengurangi biaya pembangunan konstruksi baja. Karena adanya batasan – batasan terhadap defleksi maksimum yang diijinkan, sehingga kekuatan dari struktur baja tidak dapat keuntungan yang terbaik. Oleh karena itu, beberapa metode baru ditemukan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur baja tanpa meningkatkan berat baja

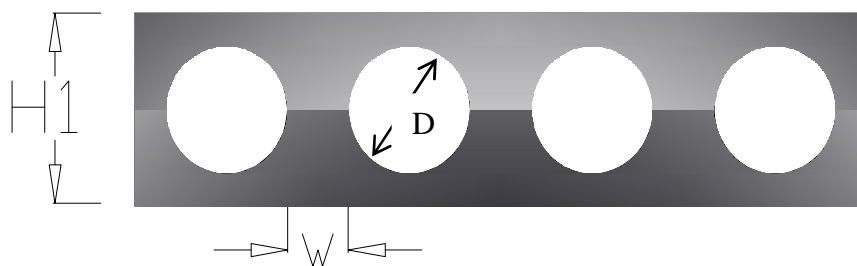


itu sendiri. Salah satu dari sekian solusinya adalah penggunaan *Castellated Beam*.  
(*Sevak Demirdjian, 1999*)

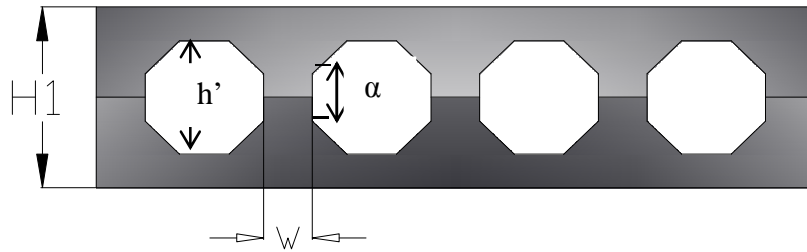
Profil baja *Castellated Beam* ialah profil baja I, H, atau U yang kemudian pada bagian badannya potongan memanjang dengan pola zig – zag. Kemudian bentuk dasar profil baja diubah dengan menggeser atau membalik setengah bagian profil baja dengan cara dilas pada bagian “gigi – giginya”. Sehingga terbentuk profil baja baru dengan lubang berbentuk segi enam ( hexagonal ), segi delapan ( Octagonal ) dan lingkaran ( Circular ). (*Johann Grunbauer, 2001*)



Gambar 2.9 Hexagonal Castellated beam



Gambar 2.10 Circular Castellated beam



*Gambar 2.11 Octagonal Castellated beam*

### **2.7.2 Geometri Penampang Castella Beam**

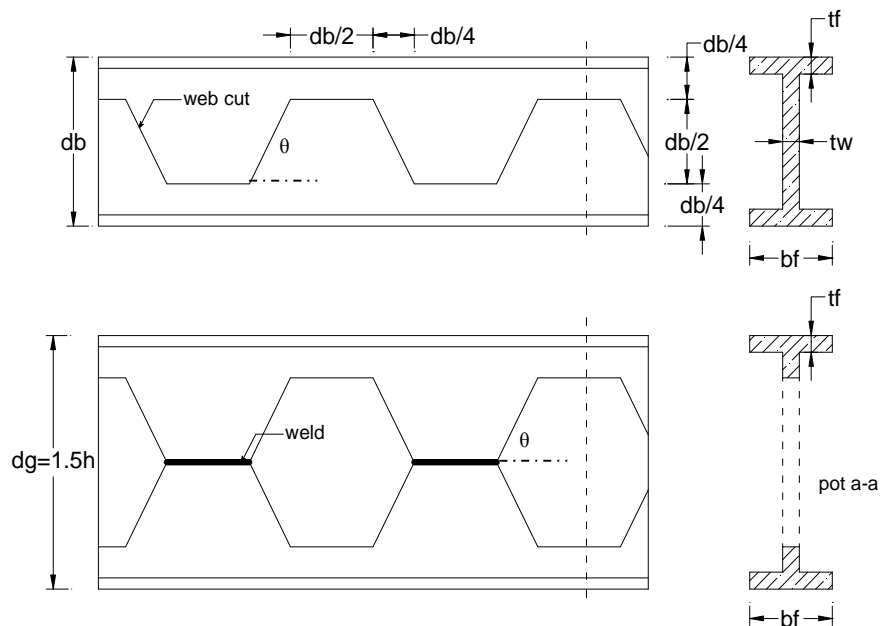
Geometri penampang castella beam dibagi menjadi tiga parameter, yaitu: (*L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005*)

#### **1. Sudut Pemotongan ( $\theta$ )**

Sudut Pemotongan ( $\theta$ ) mempengaruhi jumlah *castellation* (N per unit panjang). Riset membuktikan bahwa dengan adanya penambahan N tidak berpengaruh banyak terhadap kekakuan elastis *Castellated Beam*, akan tetapi perlu meningkatkan daktilitas serta kapasitas rotasi. Sudut pemotongan berkisar antara  $45^{\circ}$ - $70^{\circ}$ .

#### **2. Ekspansion Ratio ( $\alpha$ )**

Ekspansion ratio ( $\alpha$ ) adalah ratio penambahan tinggi yang dicapai *castellation* secara teoritis tinggi asli balok bertambah 50% dari tinggi semula, namun secara keseluruhan ketinggian pada bagian T (*tee section*) terdapat faktor pembatas.



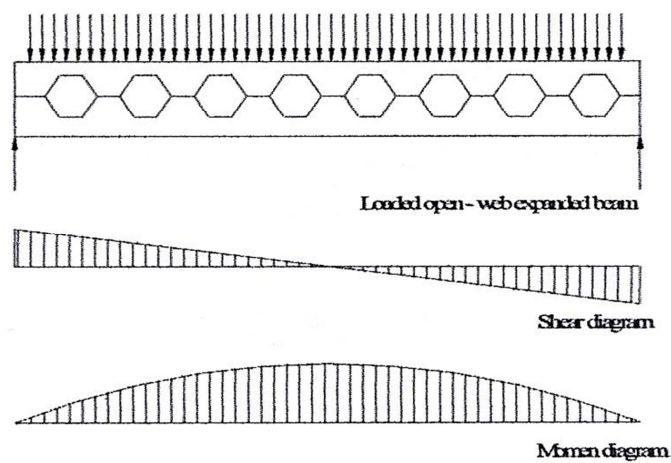
Gambar 2.12 Tinggi Setelah Pemotongan Baja

### 3. Welding Length (e)

Bila panjang bidang disambung (las) terlalu pendek. Maka akan terjadi kegagalan gaya geser horizontal pada badan profil, begitu juga sebaliknya apabila panjang bidang yang disambung (las) terlalu panjang, berdampak pada pertambahan panjang bagian T (*tee section*) dimana akan terjadi kegagalan lentur *Vierendeel*. Jadi, panjang yang diijinkan untuk dua tipe kegagalan tersebut. (*Sevak Demirdjian,1999*)

#### 2.7.3 Kekuatan Menahan Beban Kerja

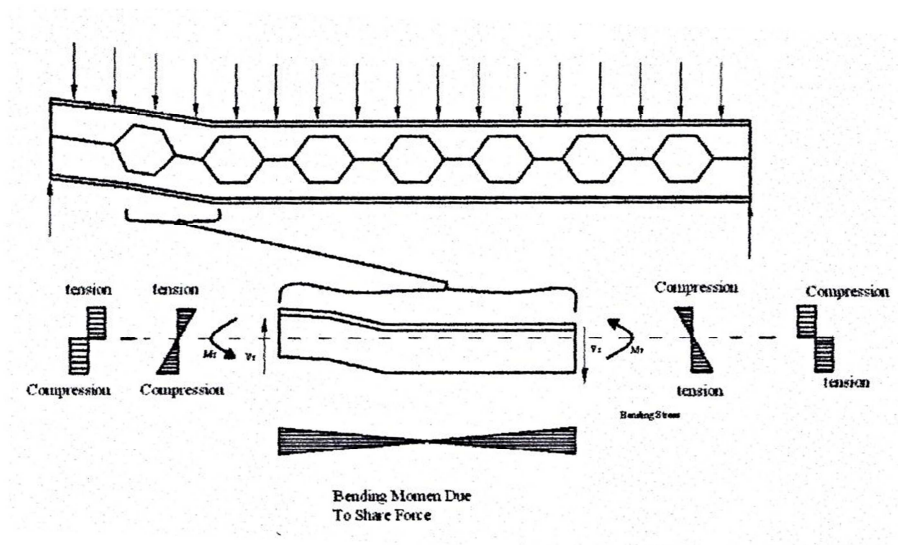
Dalam perencanaan balok castela flens profil memikul sebagian bear beban lentur, maka pengurangannya luas badan profil tidak merupakan perssoalan bila diinjau dari daya tahan terhadap momen, namun gaya linyang V yang dipikul oleh badan profil harus ditinjau lebih lanjut



*Gambar 2.13 Diagram momen lentur dan geser*

Dua bagian T atas dan bawah pada setiap badan yang berlubang menahan gaya geser vertical. Gaya lintang pada tengah bentang mempunyai harga minimum, sehingga tidak mempengaruhi kekakuan balok. Mendekati tumpuan dimana gaya lintang  $V$  makin besar, tegangan lentur yang utama diakibatkan gaya lintang pada potongan T harus dimasukkan pada perhitungan tegangan lentur utama akibat beban balok. Momen lentur akibat gaya lintang diperlihatkan gambar 2.4.3.1

Titik balik (point of inflection) momen lentur akibat gaya lintang dari bagian T atas dan bawah di asumsikan terjadi ditengah dari bagian badan yang terbuka ( $e/2$ ). Dan selanjutnya gaya geser vertical total atau gaya lintang total dibagi sama antara dua bagian T.



Gambar 2.14 Diagram Momen Lentur Akibat Gaya Lintang

$$M_T = V_T \cdot e/2 \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana :  $M_T$  = Momen lentur akibat gaya lintang

$V_T$  = Gaya lintang pada suatu penampang T

Anggapan-anggapan yang dipakai pada balok Castela adalah :

1. Bagian sayap atas dan bawah dari balok Castela masing-masing mengalami lentur tekan dan tarik akibat momen lentur ( $M_u$ ). Bila dianggap momen lentur dipukul sepenuhnya oleh pelat sayap maka harus dipenuhi :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \dots\dots\dots (2.34)$$

$$M_n = f_y \cdot Z \dots\dots\dots (2.35)$$

Dimana :  $M_u$  = Momen lentur akibat beban layanan terfaktor (kgm)

$M_n$  = Kekuatan momen nminal (kgm)

$Z$  = Modulus penampang plastis ( $\text{cm}^3$ )

$f_y$  = Tegangan leleh profil baja ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\phi$  = faktor resistensi (reduksi kekakuan) untuk lentur = 0,90

2. Gaya lintang atau gaya geser dianggap akan vertikal dianggap dipikul oleh badan profil dan menimbulkan tegangan geser baik pada badan profil yang utuh maupun pada bagian tegak penampang T dilubang sarang tawon.
3. Dilubang sarang tawon gaya lintang terbagi rata pada bagian atas dan bawah penampang T, dengan anggapan tinggi penampang T sama untuk bagian atas dan bawah. Dari anggapan beban titik balik (Point of Inflection) momen lentur terjadi ditengah-tengah lubang, maka momen terjadi maksimum (momen lentur akibat gaya lintang) pada potongan T adalah :

$$M_T = V_T \cdot e/2 = V_T/2 \cdot e/2$$

$$= V_T \cdot e/2$$

$$\frac{1}{2} \cdot V_U \leq \phi \cdot V_{nT}$$

$$V_{nT} = \frac{4 Z f_y}{e}$$

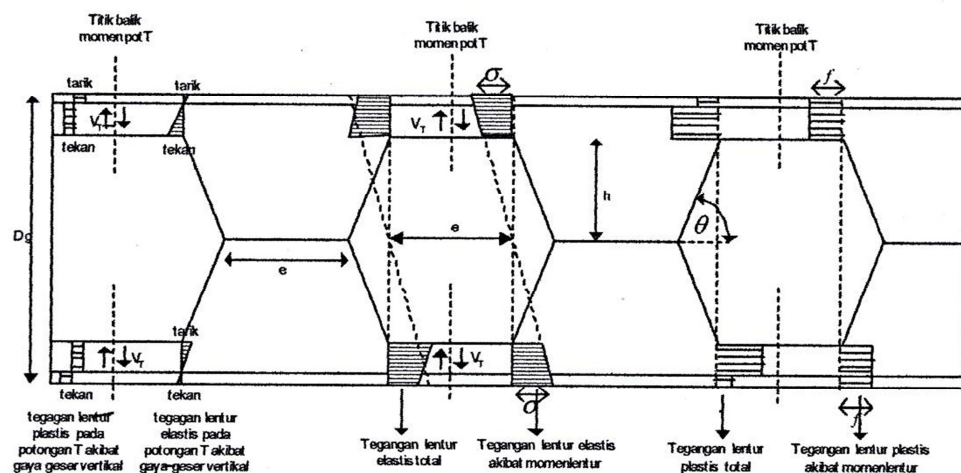
Dimana :

- $M_T$  = Momen pada penampangan T (kgm)
- $V$  = Gaya lintang pada penampang T (kg)
- $e$  = Panjang bagian penampang T (cm)
- $V_u$  = Geser beban layanan terfaktor (kg)
- $V_n$  = Kekuatan nominal dalam geser (kg)

$Z$  = Modulus penampang plastik ( $\text{cm}^3$ )  
 $f_y$  = Tegangan leleh profil baja ( $\text{kg/cm}^2$ )  
 $\phi$  = faktor resistensi (reduksi kekakuan) untuk lentur = 0,90

4. Pada tumpuan ujung badan profil harus utuh dan diperkuat dengan penegar pemikul (bearing Stiffeners) atau plat penguat badan ( Web Dorebler)

#### 2.7.4 Interaksi Geser dan Lentur



Gambar 2.15 Tegangan yang bekerja pada balok Castela

Dengan mempertimbangkan momen yang dianggap dipikul seluruh penampang, maka balok Castela harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser dengan memakai :

$$\frac{M_n}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi M_n} \leq 1,375 \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

$M_u$  = Momen lentur perlu

- $V_u$  = Gaya lintang perlu  
 $M_n$  = Kuat lentur nominal balok Castela  
 $V_n$  = Kuat geser nominal pelat badan akibat geser  
 $\phi$  = factor reduksi

### 2.7.5 Desain penampang Balok *Castellated Beam*

Desain *Castellated Beam* berdasarkan *Design of Welded Structure*, mengenai *Open web expanded beams and girders*.

- A. Menentukan modulus plastisitas tampang yang diperlukan balok *Castella*( $Z_g$ ) untuk momen lentur maksimum.

$$S_g = \frac{Mu}{\phi \cdot fy} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana :

- $S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok ( $\text{cm}^3$ )  
 $M_u$  : Momen ultimate (kgcm)  
 $\phi$  : Faktor reduksi (0,90 : untuk lentur)  
 $f_y$  : Tegangan leleh profil ( $\text{kg/cm}^2$ )

- B. Menentukan perbandingan tinggi balok castella dengan tinggi balok aslinya. Diamsuksikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \dots\dots\dots (2.38)$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{S_g}{S_b} \dots\dots\dots (2.39)$$

$$S_b = \frac{S_g}{1,5} \dots\dots\dots (2.40)$$



Dimana :

- $K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.
- $d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)
- $d_b$  : Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)
- $S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm<sup>3</sup>)
- $S_b$  : Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm<sup>3</sup>)

Menentukan nilai perbandingan tinggi ( $K_1$ ) yang sebenarnya

$$K_1 = \frac{S_g}{S_b} \dots\dots\dots (2.41)$$

C. Menentukan tinggi pemotongan zig – zag (h) :

$$h = d_b \cdot (K_1 - 1) \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana :

- h : Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)
- $K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

D. Perkiraan tinggi penampangan T yang diperlukan :

(*Design of welded structure, hal 4.7 – 15*)

$$d_T = \frac{V_u}{2 \cdot t_w \cdot 0.4 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.43)$$

Dimana :

- $d_T$  : Tinggi penampang T perlu (mm)
- $V_u$  : Gaya geser terfaktor (kg)
- $t_w$  : Tebal badan balok (mm)
- $f_y$  : Tegangan leleh profil (kg/cm<sup>2</sup>)

**E.** Menentukan tinggi balok castella :

$$d_g = d_b + h \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

Dimana :

$d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)

**F.** Menentukan tinggi dan tangkai penampang T

$$d_T = \frac{d_g}{2} - h \quad \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana :

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

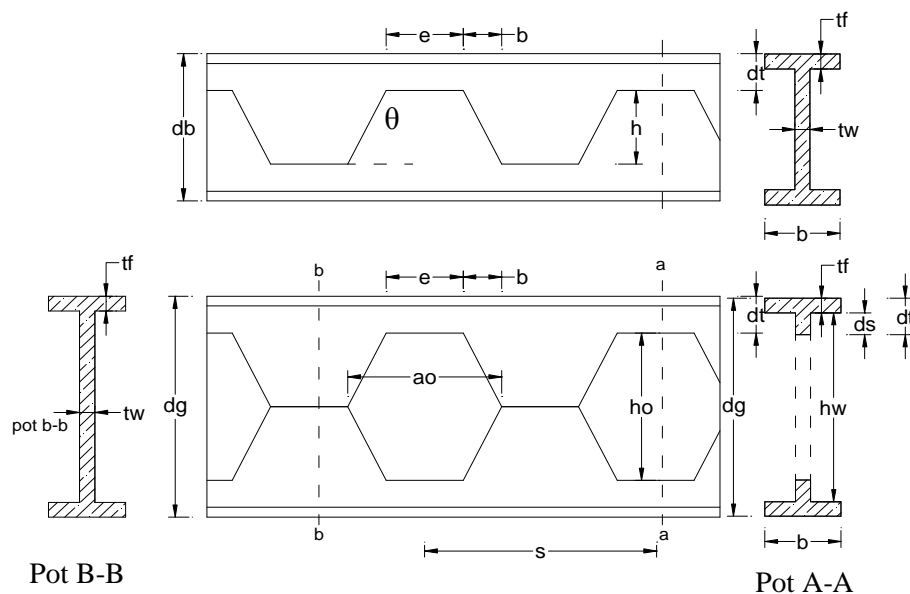
$$d_s = d_T - t_f \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

Dimana :

$d_s$  : Tinggi tangkai penampang T (mm)

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

$t_f$  : Tebal flens penampang (mm)



Gambar 2.16. Dimensi geometri penampang Castellated Beam

**G.** Menentukan tegangan lentur ijin plat badan balok *castella* :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2.47)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}}$$

Dimana :

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$f_y$  : Tegangan leleh profil (N/mm<sup>2</sup>)

**H.** Menentukan tegangan geser balok *castella* :

$$\sigma_v = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180}\right)^2}{3 \cdot \tan \theta} \cdot \bar{\sigma} \leq 0,4 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

Dimana :

$\sigma_v$  : Tegangan geser ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$\theta$  : Sudut dalam

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

**I.** Menentukan tegangan geser maksimum balok *castella* :

$$\sigma_{\max} = 1,16 \cdot \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

Dimana :

$\sigma_{\max}$  : Tegangan geser maksimum balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$V$  : Gaya geser yang terjadi (N)

**J.** Rasio tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok berlubang ( $K_2$ ) :

$$\frac{e}{s} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = K_2 \quad \dots\dots\dots (2.50)$$

**K.** Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel :

$$e \geq \frac{2.h.tan\theta}{\frac{1}{K_2}-2} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$s = 2.(e + h.tan\theta) \dots\dots\dots(2.52)$$

Dimana :

$e$  : Panjang bidang horizontal (mm)

$s$  : Jarak antar panel (mm)

**L.** Menentukan ukuran dimensi balok *castella* :

Luas penampang T balok *castella* :

$$A_T \geq A_f + A_s \dots\dots\dots(2.53)$$

Modulus kelembaman penampang T balok *castella* :

$$S_T = A_f.(d_s + \frac{t_f}{2}) + A_s.\frac{d_s}{2} \dots\dots\dots(2.54)$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$I_T = A_f.(d_s^2 + d_s.t_f + \frac{t_f^2}{3}) + A_s.\frac{d_s^2}{3} \dots\dots\dots(2.55)$$

Jarak garis berat penampang T pada ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} \dots\dots\dots(2.56)$$

Momen inersia tangkai penampang T:

$$I_t = I_T - C_s.S_T \dots\dots\dots(2.57)$$

Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \dots\dots\dots(2.58)$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$d = 2.(h + C_s) \dots\dots\dots(2.59)$$

Momen inersia balok *castella*:

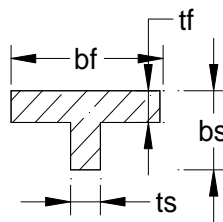
$$I_g = 2 \cdot I_t + \frac{A_t \cdot d^2}{2} \dots\dots\dots (2.60)$$

Modulus tahanan balok *castella*:

$$S_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} \dots\dots\dots (2.61)$$

**M.** Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} \qquad \frac{b_s}{t_s} \leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots (2.62)$$



*Gambar 2.17. Penampang T*

**N.** Menentukan profil, kontrol kriteria dan kapasitas penampang :

Batas – batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < \lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.63)$$

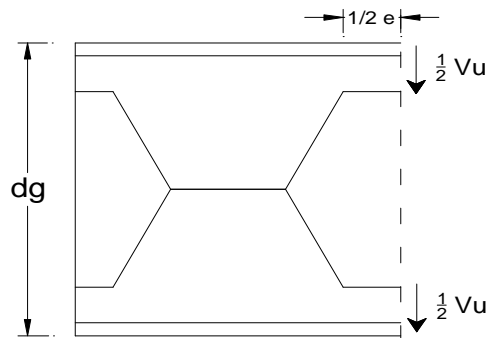
$$\lambda_w = \frac{d_g}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots (2.64)$$

Dimana :

- $E$  : Modulus elastisitas baja (N/mm<sup>2</sup>)
- $t_f$  : Tebal *flens* penampang (mm)
- $b_f$  : Lebar *flens* penampang (mm)
- $t_w$  : Tebal *web* (badan) penampang (mm)
- $d_g$  : Tinggi bersih *web* (badan) penampang *Castella* (mm)

- $\lambda_f$  : Rasio kelangsingan *flens* (sayap)
- $\lambda_{pf}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *flens* untuk elemen kompak
- $\lambda_w$  : Rasio kelangsingan *web* (badan)
- $\lambda_{pw}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *web* untuk elemen kompak

**O. Kontrol tegangan :**



Gambar 2.18. Gaya geser pada penampang *T*

$$\sigma T + \sigma b \leq \bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots(2.65)$$

Tegangan lentur primer :

$$\sigma b = \frac{F}{AT} = \frac{M}{d \cdot AT} \quad \dots\dots\dots(2.66)$$

Tegangan lentur sekunder :

$$\sigma T = \frac{V \cdot e}{4 \cdot Z_s} \quad \dots\dots\dots(2.67)$$

Tegangan lentur ijin :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{2,609}{Cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.68)$$

Dimana :

$\sigma T$  : Tegangan lentur sekunder (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : Tegangan tarik dan desak (N/mm<sup>2</sup>)

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

**P.** Menentukan modulus plastisitas tampang yang diperlukan balok *Castella*( $Z_g$ ) untuk momen lentur maksimum.

$$S_g = \frac{Mu}{\phi \cdot f_y} \quad (2.69)$$

Dimana :

$S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok (cm<sup>3</sup>)

$M_u$  : Momen ultimate (kgcm)

$\phi$  : Faktor reduksi (0,90 : untuk lentur)

$f_y$  : Tegangan leleh profil (kg/cm<sup>2</sup>)

**Q.** Menentukan perbandingan tinggi balok *castella* dengan tinggi balok aslinya. Diamsuksikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \quad \dots\dots\dots (2.70)$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{S_g}{S_b} \quad \dots\dots\dots (2.71)$$

$$S_b = \frac{S_g}{1,5} \quad \dots\dots\dots (2.72)$$

Dimana :

$K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

$d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)

$d_b$  : Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)

$S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian ( $\text{mm}^3$ )

$S_b$  : Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian ( $\text{mm}^3$ )

Menentukan nilai perbandingan tinggi ( $K_1$ ) yang sebenarnya

$$K_1 = \frac{S_g}{S_b} \dots\dots\dots (2.73)$$

**R.** Menentukan tinggi pemotongan zig – zag ( $h$ ) :

$$h = d_b \cdot (K_1 - 1) \dots\dots\dots (2.74)$$

Dimana :

$h$  : Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)

$K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

**S.** Perkiraan tinggi penampangan T yang diperlukan :

(*Design of welded structure, hal 4.7 – 15*)

$$d_T = \frac{V_u}{2 \cdot t_w \cdot 0.4 \cdot f_y} \dots\dots\dots (2.75)$$

Dimana :

$d_T$  : Tinggi penampang T perlu (mm)

$V_u$  : Gaya geser terfaktor (kg)

$t_w$  : Tebal badan balok (mm)

$f_y$  : Tegangan leleh profil ( $\text{kg/cm}^2$ )

**T.** Menentukan tinggi balok castella :

$$d_g = d_b + h \dots\dots\dots (2.76)$$

Dimana :

$d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)



U. Menentukan tinggi dan tangkai penampang T

$$d_T = \frac{d_g}{2} - h \quad \dots\dots\dots(2.77)$$

Dimana :

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

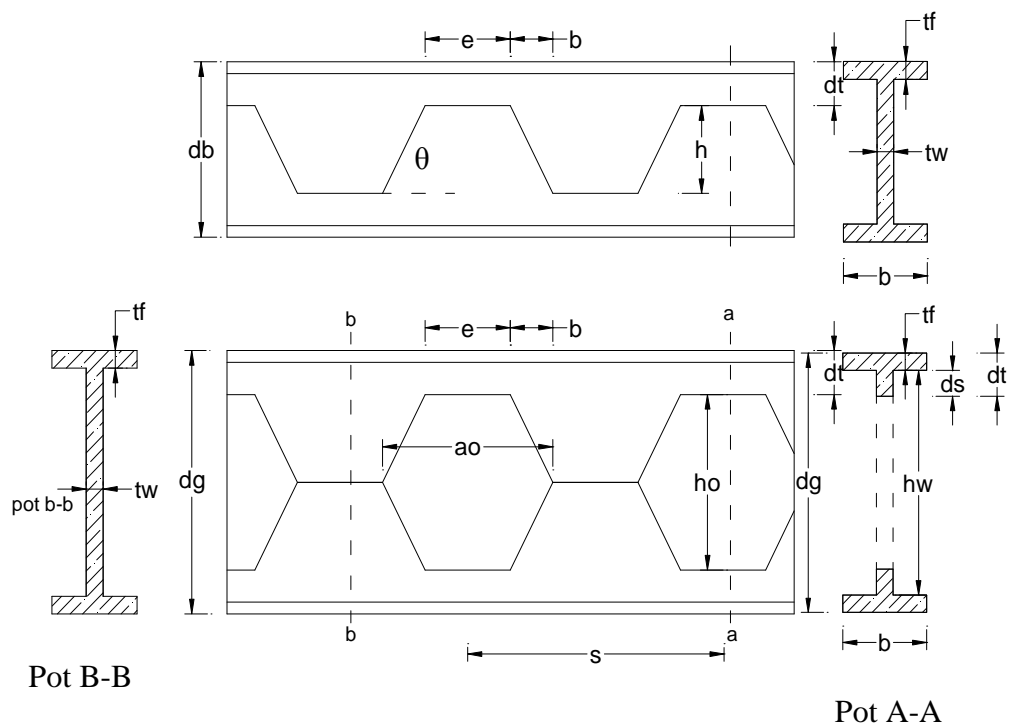
$$d_s = d_T - t_f \quad \dots\dots\dots(2.78)$$

Dimana :

$d_s$  : Tinggi tangkai penampang T (mm)

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

$t_f$  : Tebal flens penampang (mm)



Gambar 2.19. Dimensi geometri penampang Castellated Beam

V. Menentukan tegangan lentur ijin plat badan balok *castella* :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.79)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}}$$

Dimana :

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$f_y$  : Tegangan leleh profil (N/mm<sup>2</sup>)

W. Menentukan tegangan geser balok *castella* :

$$\sigma_v = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180}\right)^2}{3 \cdot \tan \theta} \cdot \bar{\sigma} \leq 0,4 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots(2.80)$$

Dimana :

$\sigma_v$  : Tegangan geser ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$\theta$  : Sudut dalam

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

X. Menentukan tegangan geser maksimum balok *castella* :

$$\sigma_{\max} = 1,16 \cdot \frac{95\% \cdot V}{t_w \cdot d_g} \quad \dots\dots\dots(2.81)$$

Dimana :

$\sigma_{\max}$  : Tegangan geser maksimum balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$V$  : Gaya geser yang terjadi (N)

Y. Rasio tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok berlubang ( $K_2$ ) :

$$\frac{e}{s} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = K_2 \quad \dots\dots\dots (2.82)$$

**Z.** Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel :

$$e \geq \frac{2.h.tan\theta}{\frac{1}{K_2}-2} \quad \dots\dots\dots (2.83)$$

$$s = 2.(e + h.tan\theta) \quad \dots\dots\dots (2.84)$$

Dimana :

$e$  : Panjang bidang horizontal (mm)

$s$  : Jarak antar panel (mm)

**AA.**Menentukan ukuran dimensi balok *castella* :

Luas penampang T balok *castella* :

$$A_T \geq A_f + A_s \quad \dots\dots\dots (2.85)$$

Modulus kelembaman penampang T balok *castella* :

$$S_T = A_f.(d_s + \frac{t_f}{2}) + A_s.\frac{d_s}{2} \quad \dots\dots\dots (2.86)$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$I_T = A_f.(d_s^2 + d_s.t_f + \frac{t_f^2}{3}) + A_s.\frac{d_s^2}{3} \quad \dots\dots\dots (2.87)$$

Jarak garis berat penampang T pada ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} \quad \dots\dots\dots (2.88)$$

Momen inersia tangkai penampang T:

$$I_t = I_T - C_s.S_T \quad \dots\dots\dots (2.89)$$

Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \quad \dots\dots\dots (2.90)$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$d = 2 \cdot (h + C_s) \dots\dots\dots(2.91)$$

Momen inersia balok *castella*:

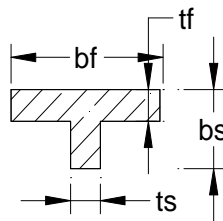
$$I_g = 2 \cdot I_t + \frac{A_T \cdot d^2}{2} \dots\dots\dots (2.92)$$

Modulus tahanan balok *castella*:

$$S_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} \dots\dots\dots (2.93)$$

**BB.** Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} \qquad \frac{b_s}{t_s} \leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}} \dots\dots\dots(2.94)$$



Gambar 2.20. Penampang T

**CC.** Menentukan profil, kontrol kriteria dan kapasitas penampang :

Batas – batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < \lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.95)$$

$$\lambda_w = \frac{d_g}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \dots\dots\dots(2.96)$$

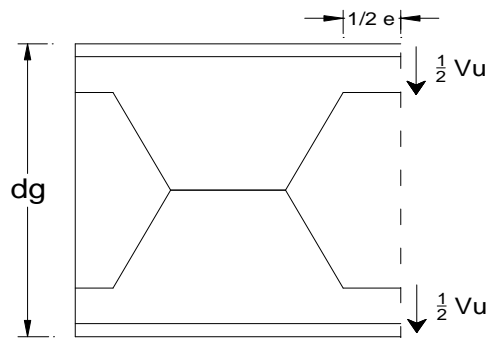
Dimana :

$E$  : Modulus elastisitas baja ( $\text{N/mm}^2$ )

$t_f$  : Tebal *flens* penampang (mm)

- $b_f$  : Lebar *flens* penampang (mm)
- $t_w$  : Tebal *web* (badan) penampang (mm)
- $d_g$  : Tinggi bersih *web* (badan) penampang *Castella* (mm)
- $\lambda_f$  : Rasio kelangsingan *flens* (sayap)
- $\lambda_{pf}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *flens* untuk elemen kompak
- $\lambda_w$  : Rasio kelangsingan *web* (badan)
- $\lambda_{pw}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *web* untuk elemen kompak

**DD.**Kontrol tegangan :



Gambar 2.21. Gaya geser pada penampang *T*

$$\sigma_T + \sigma_b \leq \bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots (2.97)$$

Tegangan lentur primer :

$$\sigma_b = \frac{F}{AT} = \frac{M}{d \cdot AT} \quad \dots\dots\dots (2.98)$$

Tegangan lentur sekunder :

$$\sigma_T = \frac{V \cdot e}{4 \cdot Z_s} \quad \dots\dots\dots (2.99)$$

Tegangan lentur ijin :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{2,609}{cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad \dots\dots\dots (2.100)$$

Dimana :

- $\sigma T$  : Tegangan lentur sekunder (N/mm<sup>2</sup>)
- $\sigma b$  : Tegangan tarik dan desak (N/mm<sup>2</sup>)
- $\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

### 2.7.6 Defleksi

Defleksi balok komposit tergantung pada metode kontruksinya, khususnya tergantung pada apakah balok tersebut disekur atau tidak selama konstruksi. Rangkakdan susut beton dalam pelat juga berpengaruh. Perhitungan defleksi membutuhkan hitungan momen inersia transformasi retak elastis  $I_{tr}$  untuk komposit, dan jika tidak disekur, membutuhkn pula momen inersia elastis penampang baja itu sendiri. Jika balok baja baja disekur dari bawah selama pengerasan pelat beton, penampang komposit akan memikul baik beban mati maupun beban mati. Pada konstruksi tanpa sekur defleksi total merupakan jumlah dari defleksi beban mati balok baja dan defleksi beban hidup penampang komposit.

- a. Defleksi akibat beban mati

$$\Delta = \frac{5 W L^4}{384 E_s I_s} \quad \dots\dots\dots (2.101)$$

Dimana :

- $\Delta$  : Defleksi (cm<sup>2</sup>)

- $w$  : Beban mati yang bekerja (kg/m)  
 $L$  : Panjang balok (m)  
 $E_s$  : Modulus Elastisitas baja (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $I_s$  : Momen Inersia baja (cm<sup>4</sup>)

b. Defleksi akibat beban hidup

$$\Delta = \frac{5 W L^4}{384 E_s I_{tr}} \dots\dots\dots (2.102)$$

Dimana :

- $\Delta$  : Defleksi (cm<sup>2</sup>)  
 $w$  : Beban mati yang bekerja (kg/m)  
 $L$  : Panjang balok (m)  
 $E_s$  : Modulus Elastisitas baja (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $I_s$  : Momen Inersia komposit (cm<sup>4</sup>)

c. Defleksi balok menerus pada pertengahan pertengahan bentang dari pembebanan merata dengan momen ujung yang tidak sama :

$$\Delta_{\text{pertengahan bentang}} = \frac{5 L^2}{48 EI} (M_s - 0,1 (M_q + M_b)) \dots\dots\dots (2.103)$$

Dimana :

- $L$  : Panjang bentang (cm)  
 $E$  : Modulus elastisitas baja (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $I$  : Momen inersia (cm<sup>4</sup>)

$M_s$  : Modulus tengah bentang (kg/cm)

$M_a$  : Momen tumpuan a (kg/cm)

$M_b$  : Momen tumpuan b (kg/cm)

d. Defleksi limit

$$\Delta_{\text{limit}} = \frac{L}{360} \sim \frac{L}{480} \dots\dots\dots (2.104)$$

Dimana :

$\Delta$  : Defleksi (cm)

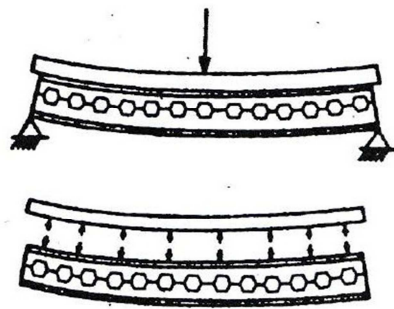
$L$  : Panjang balok (cm)

## **2.8 Struktur Balok Komposit**

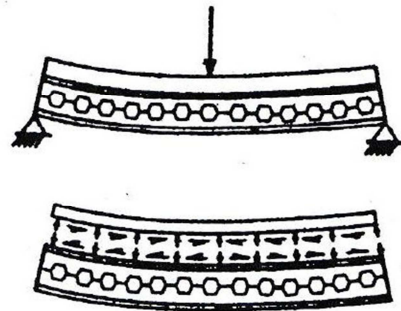
### **2.8.1 Aksi Komposit**

Aksi komposit timbul bila dua batang struktural pemikul beban seperti konstruksi lantai beton dan balok baja penyanggah disambung secara integral dan melendut secara satu kesatuan. Besarnya aksi komposit yan timbul bergantung pada penataan yang dibuat untuk menjamin regangan linear tunggal dari atas pelat beton dampai muka bawah penampang baja. (*Sumber: Salmon & Johnson Jilid 2,1996 hal.578*)





a) Balok tak komposit yang melendut

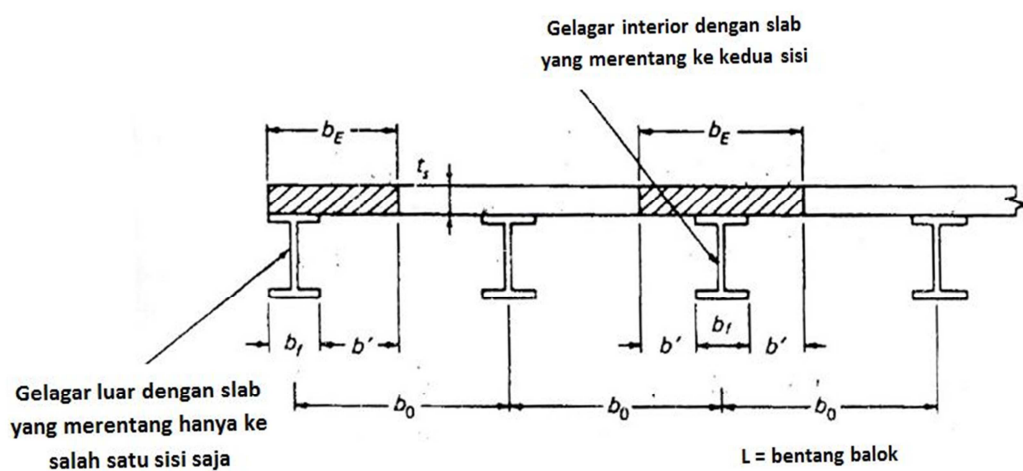


b) Balok komposit yang melendut

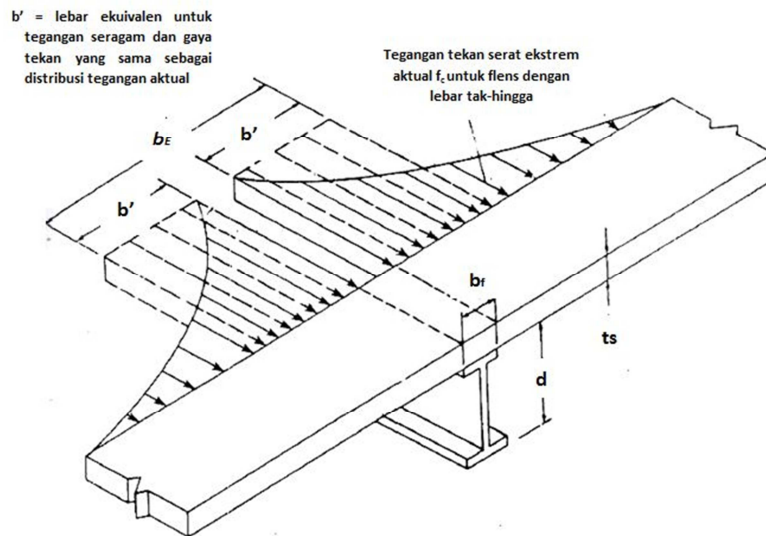
*Gambar 2.22 Perbandingan antara balok yang mengalami defleksi dengan dan tanpa aksi komposit.*

## 2.8.2 Lebar Efektif

Konsep lebar efektif bermanfaat dalam desain bila kekuatan harus ditentukan untuk suatu elemen yang terkena distribusi tegangan tak seragam. Aksi komposit terdiri dari kekakuan balok baja dan lebar tertentu (lebar efektif) pelat beton.



*Gambar 2.23 Distribusi tegangan ekuivalen dan aktual di sepanjang*



Gambar 2.24 Dimensi-dimensi yang menentukan lebar efektif  $b_E$  pada baja-beton komposit.

Besarnya lebar efektif untuk penampang T diambil nilai terkecil dari :

1. Untuk gelagar interior ( plat menumpu pada kedua sisi ), dengan mengacu pada gambar 2.6 :

- $b_{eff} \leq L/4$
- $b_{eff} \leq b_o$  (untuk jarak balok yang sama)
- $b_{eff} \leq b_f + 16t_s$

2. Untuk gelagar luar :

- $b_{eff} \leq L/8 + (\text{jarak pusat balok ke tepi plat})$
- $b_{eff} \leq 0,5.b_o + (\text{jarak pusat balok ke tepi plat})$
- $b_{eff} \leq b_f + 6t_s$

Dimana :  $L$  : Panjang bentang (mm)

$b_o$  : Jarak antar balok (mm)

$b_f$  : Lebar flens baja (mm)

$t_s$  : Tebal slab/plat (mm)

Sumber: SNI 03-1729:2015 pasal I3.1a

### 2.8.3 Rasio Modulus Elastisitas

Sifat-sifat penampang elastis dari penumpang komposit dapat dihitung dengan metode transformasi penampang. Berbeda dari beton bertulang, dimana baja batang tulangan ditransformasikan menjadi luas beton ekuivalennya, slab beton pada penampang komposit ditransformasikan menjadi baja ekuivalennya. Akibat luas beton direduksi dengan menggunakan lebar slab yang sama dengan  $bE/n$  dimana “n” merupakan rasio modulus elastisitas  $E_s/E_c$ . (SNI 03-1729-2015 pasal I2.1b)

$$n = E_s/E_c \dots\dots\dots (2.105)$$

$$E_c = 0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c}, \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots (2.106)$$

Dimana :  $n$  : Rasio modulus elastisitas

$E_s$  : Modulus elastisitas baja (Mpa)

$E_c$  : Modulus elastisitas beton (Mpa)

$f'_c$  : Kuat tekan karakteristik beton (Mpa)

$W_c$  : Berat beton per unit volume  $1500 \leq W_c \leq$

$2500 \text{ kg/m}^3$  ( berat jenis beton normal dapat

diambil sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$ )

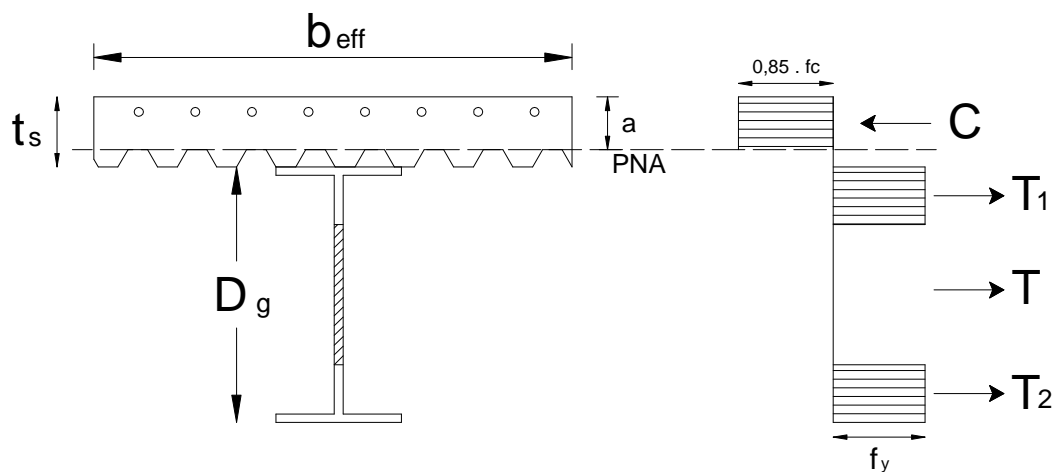
#### 2.8.4 Kapasitas Momen Nominal Penampang Komposit

Kapasitas momen nominal penampang pada balok komposit ditentukan berdasarkan letak garis netral. Dengan demikian ada 2 (dua) kemungkinan letak garis netral, yaitu pada beton atau pada ablok baja.

(Ps 16.7.1, Pustaka 10)

Kapasitas momen ultimit pada momen positif

e. Garis netral jatuh didalam plat beton



Gambar 2.25 distribusi tegangan dengan garis netral pada beton

Gaya tekan dalam beton ( )

$$C = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b_{eff} \dots\dots\dots (2.107)$$

Dimana :

C : Gaya tekan (Comprees) (kg)

a : kedalaman balok tegangan (cm)

b<sub>eff</sub> : lebar efektif (cm)

Gaya tarik dalam balok baja :

$$T_1 = T_1 = A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y = \{(b_f \cdot t_f) + (d_s \cdot t_w)\} \cdot f_y \dots\dots\dots (2.108)$$

Dimana :

T : Gaya tarik (Tension) (kg)

As : luas penampang baja (cm<sup>2</sup>)

f<sub>y</sub> : tegangan leleh baja (kg/cm<sup>2</sup>)

Dari keseimbangan gaya-gaya dalam, C = T didapat tinggi garis netral dari sisi serat atas : (Ps)

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_{c.b_{eff}}} \dots\dots\dots (2.109)$$

Kekuatan momen nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja :

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left( \frac{h}{2} + t_s - \frac{\alpha}{2} \right) \dots\dots\dots (2.110)$$

Dimana :

M<sub>n</sub> : kekuatan momen nominal(kgcm)

A<sub>s</sub> : luas penampang baja (cm<sup>2</sup>)

f<sub>y</sub> : tegangan leleh baja (kg/cm<sup>2</sup>)

h : tinggi balok (cm)

t<sub>s</sub> : tebal slab/plat (cm)

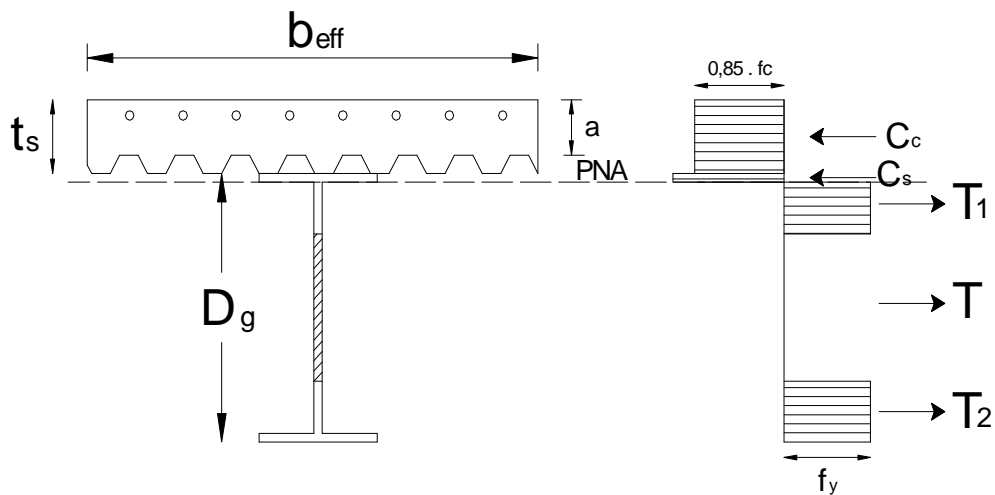
$$\text{Dan } \phi \cdot M_n \geq M_u \dots\dots\dots (2.111)$$

Dengan :

$M_u$  : momen lentur akibat beban layan terfaktor (kgm)

$\phi$  : 0,85 momen lentur akibat beban layan terfaktor (kgm)

b. Garis netral jatuh diluar beton



Gambar 2.26 distribusi tegangan dengan garis netral pada balok baja

Gaya tekan  $C_c$  dalam slab sebesar :

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff} \cdot t_s \dots\dots\dots (2.112)$$

Dimana :

$C_c$  : Gaya tekan pada beton dalam slab/plat lantai (kg)

$T_s$  : tebal slab/plat lantai (cm)

$b_{eff}$  : lebar efektif (cm)

Gaya tekan dalam baok baja yang dihasilkan oleh bagian balok yang ada diatas sumbu netral sebagai  $C_s$  :

Gaya tarik  $T' < A_s \cdot f_y$  harus sama dengan jumlah gaya-gaya tekan :

(Ps 16.7.7 ; 16.7.8 ; 16.7.9, pustaka 10 )

$$T' = C_c + C_s \text{ dan}$$

$$T' = (A_s \cdot f_y) - C_s$$

Apabila kedua persamaan diatas disamakan maka menjadi :

$$C_s = \frac{(A_s \cdot f_y) - C_c}{2} \dots\dots\dots (2.113)$$

Dimana :

$C_s$  : Gaya tekan pada balok/baja(kg)

$T'$  : gaya tarik baja (cm)

$A_s$  : Luas penampang baja (cm<sup>2</sup>)

Dengan meninjau gaya tekan  $C_c$  dan  $C_s$  kekuatan nominal  $M_n$  adalah :

( Ps 16.7.10, Pustaka 10)

$$M_n = C_c \cdot d'_2 + C_s \cdot d''_2 \dots\dots\dots (2.114)$$

Dimana :

$M_n$  : Momen nominal (kgcm)

$d'_2$  ;  $d''_2$ : Lengan-lengan momen (cm)

Dan  $\phi \cdot M_n \geq M_u$

Dengan :

$M_u$  : momen lentur akibat beban layan terfaktor (kgm)

$\phi$  : 0,85 faktor reduksi berdasarkan distribusi tegangan plastis (kgm)

## 2.8.5 Kuat Lentur Nominal

Kuat lentur nominal dari suatu komponen struktur komposit (untuk momen positif), menurut SNI 03-1729-2015 pasal I3.2a ditentukan sebagai berikut :

a) untuk  $h/t_w \leq 3,76\sqrt{E/f_y}$

$M_n$  (kuat momen nominal) yang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit.  $\phi_b=0,9$

b) untuk  $h/t_w > 3,76\sqrt{E/f_y}$

$M_n$  (kuat momen nominal) yang dihitung berdasarkan superposisi tegangan-tegangan elastis yang memperhitungkan pengaruh tumpuan sementara (perancah).  $\phi_b=0,9$

#### 2.8.6 Komponen struktur yang mengalami geser

Munurut SNI 1729 : 2015 pasal I4 (2), kekuatan geser desain  $\phi V_n$  untuk balok komposit dengan *steel headed stud* atau angkur kanal baja harus ditentukan berdasarkan properti dari penampang baja sendiri seperti pada sub bab 2.5.3.

#### 2.8.7 Kontrol Lendutan

Apabila balok dibebani oleh beban (baik beban merata maupun beban terpusat), maka akan melentur (deflected) sehingga menimbulkan lendutan. Besarnya lenturan balok (berupa lendutan ditengah bentang untuk balok perletakan) dan putaran sudut  $\theta$  di A dan B tergantung pada harga E I.

Lendutan yang diijinkan yakni :

$$f_{ijin} = \frac{1}{360} \times L \dots\dots\dots (2.115)$$

Dimana L = panjang bentang (mm)



Lendutan maksimal yang terjadi ( $f_{maks}$ ) harus lebih kecil dari lendutan yang diijinkan ( $f_{ijin}$ ). Sedangkan untuk lendutan yang terjadi dihitung menggunakan metode momen area. Lendutan menggunakan momen area dihitung sebagai berikut :

$$f_{maks} = \frac{M}{EI_{komposit}} \dots\dots\dots (2.116)$$

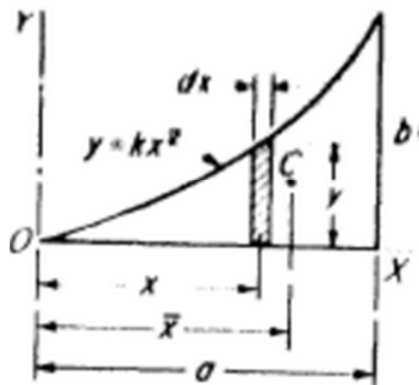
Dimana :

M : Momen maksimum akibat lentur yang diperoleh dari luasan momen (N)

E : Modulus elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)

I<sub>komposit</sub> : Momen inersia penampang komposit (mm<sup>4</sup>)

Luasan momen (A) dihitung sebagai integral dari  $f(x)$  :

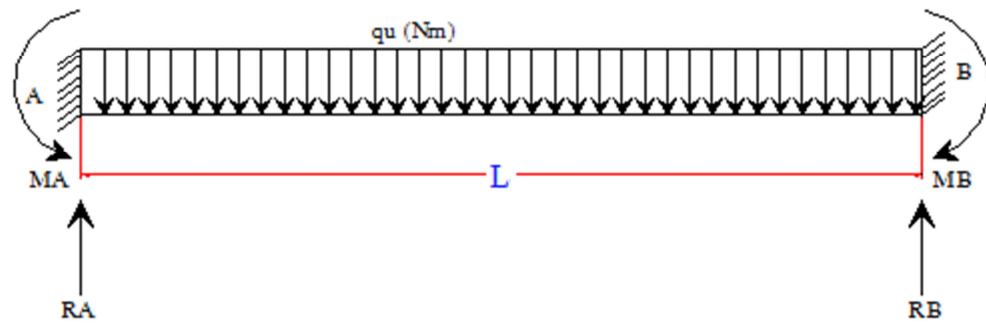


Gambar 2.27 luasan dan Titik berat Momen

$$A = \int dA$$

$$A = \int_0^a y dx$$

Dimana  $y = f(x)$  merupakan fungsi momen pada jarak  $x$ ,



$$f(x) = R_A x - q_u \cdot \frac{1}{2} x^2 + M_A$$

Sedangkan untuk menentukan titik berat masing masing segmen momen ( $\bar{x}$ )

dihitung menggunakan persamaan :

$$A\bar{x} = \int_0^a x dA$$

$$\int_0^a f(x) dx \times \bar{x} = \int_0^a x(f(x)) dx$$

$$\bar{x} = \frac{\int_0^a x(f(x)) dx}{\int_0^a f(x) dx}$$

Yang mana  $\bar{x}$  dihitung dari titik batas bawah integral (titik nol).

### 2.8.8 Perhitungan Angkur *Steel headed stud (Shear conector)*

Geser horizontal ( $V_h$ ) total pada daerah antara momen nol dan momen positif maksimum ditentukan berdasarkan nilai terkecil dari keadaan berikut :

(a) Kehancuran beton,

$$V_h = 0,85 \times f'_c \times A_c$$

Dimana  $A_c$  = Luas plat beton di lebar efektif ( $\text{mm}^2$ )  
 $= \text{Lebar efektif plat } (b_{\text{eff}}) \times \text{tebal plat } (t_s)$

- (b) Leleh tarik dari penampang baja

$$V_h = f_y \times A_s$$

Dimana  $A_s$  = Luas penampang melintang baja ( $\text{mm}^2$ )

- (c) Kekuatan geser dari steel headed stud

$$V_h = \Sigma Q_n$$

Dimana  $\Sigma Q_n$  = Jumlah dari kekuatan geser nominal dari steel headed stud  
 antara titik dari momen positif maksimum dan titik dari  
 momen nol (N)

Geser horizontal ( $V_h$ ) total pada daerah antara momen nol dan momen  
 negatif maksimum ditentukan berdasarkan nilai terkecil dari keadaan berikut :

- (a) Untuk keadaan batas dari leleh tarik tulangan plat,

$$V_h = F_{ysr} \times A_{sr}$$

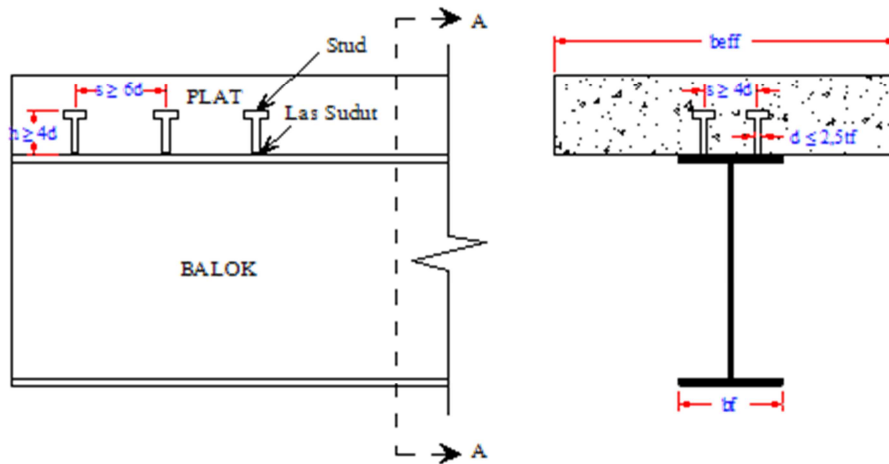
Dimana  $A_{sr}$  = Luas baj tulangan longitudinal ( $\text{mm}^2$ )

$F_{ysr}$  = tegangan leleh minimum baja tulangan (MPa)

- (b) Untuk keadaan batas kekuatan geser dari steel headed stud,

$$V_h = \Sigma Q_n$$

Perencanaan shear connector berupa angkur stud baja berkepala (steel  
 headed stud) yakni :



Gambar 2.28 Letak Penghubung Geser Balok

Kekuatan geser nominal satu angkur *steel headed stud* yang ditanam pada suatu plat beton ditentukan sebagai berikut :

$$Q_n = 0,5A_{sa}\sqrt{f'_c E_C} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad \dots\dots\dots (2.117)$$

Dimana :  $A_{sa}$  = Luas penampang dari angkur steel headed stud (mm<sup>2</sup>)

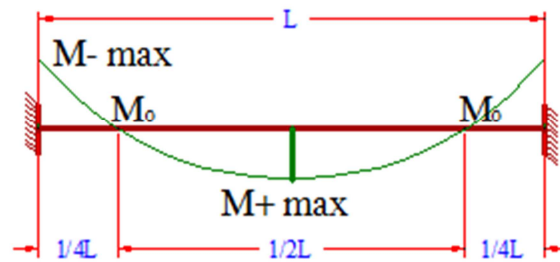
$E_C$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

=  $0,043 \times W_c^{1,5} \times \sqrt{f'_c}$  , dimana  $W_c$  = berat beton persatuan volum sebesar 2400kg/m<sup>3</sup>

$F_u$  = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari suatu angkur *steel headed stud* (MPa)

$R_g$  = Koefisien untuk menghitung efek grup (diatur dalam pasal I8.2a SNI 1729 : 2015)

$R_p$  = Faktor efek posisi untuk paku geser (*shear stud*) (diatur dalam pasal I8.2a SNI 1729 : 2015)



Jumlah stud yang digunakan :

- Pada bentang  $0 - \frac{1}{4} L$

$$N = \frac{Vh1}{Qn}$$

Dimana :

$Vh1$  = Kekuatan geser nominal yang terkecil untuk momen negatif (N)

$Qn$  = Kekuatan geser nominal 1 buah stud (N)

- Pada bentang  $\frac{1}{4}L - \frac{3}{4}L$

$$N = \frac{Vh2}{Qn}$$

Dimana :

$Vh2$  = Kekuatan geser nominal yang terkecil untuk momen positif (N)

$Qn$  = Kekuatan geser nominal 1 buah stud (N)

- Pada Bentang  $\frac{3}{4}L - L$

$$N = \frac{Vh3}{Qn}$$

Dimana :

$Vh3$  = Kekuatan geser nominal yang terkecil untuk momen negatif (N)

$Qn$  = Kekuatan geser nominal 1 buah stud (N)

Jarak antar (P) sebagai berikut :

$$P = \frac{L}{N}$$

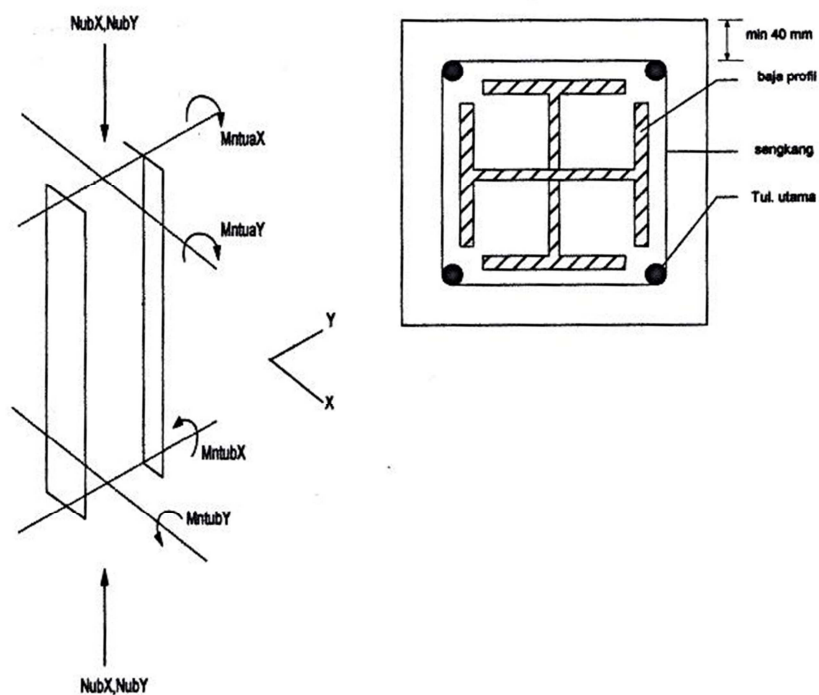
Dimana :

P = Jarak antar stud (mm)

L = Panjang bentang (berdasarkan masing-masing momen), mm

## 2.9 Metode Kolom Komposit

### 2.9.1 Konsep Dasar



Gambar 2.29. Profil kolom King cross komposit

Kolom adalah bagian dari struktur bangunan yang berfungsi meneruskan beban di atasnya ke konstruksi pondasi bangunan. Dalam perencanaan pendahuluan/ preliminary desain kolom, gaya-gaya dalam yang bekerja adalah gaya aksial serta momen. Karena pada balok menggunakan profil castellated maka

agar lebih mudah dalam perhitungan dan pelaksanaan, untuk kolom digunakan profil king cross karena profil ini memiliki kuat aksial yang cukup tinggi pada arah X dan arah Y. Maka dari itu profil ini paling baik digunakan untuk struktur kolom pada bangunan.

Persyaratan bagi suatu kolom komposit dalam SNI 03-1729-2015 pasal I2

Batasan – batasan berikut harus dipenuhi suatu kolom komposit :

- Luas penampang profil baja minimal sebesar 1% dari luas total penampang melintang kolom komposit. Jika tidak terpenuhi maka komponen struktur tersebut akan beraksi sebagai kolom biasa.
- Untuk profil baja yang diselubungi beton, persyaratan berikut harus dipenuhi :
  1. Tulangan longitudinal dan lateral harus digunakan, jarak antar pengikat lateral, batang tulangan 10 mm berspasi maksimum 305 mm dari pusat ke pusat. Boleh digunakan tulangan kawat ulir atau kawat dilas dengan luas ekuivalen. Spasi maksimum dari pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi kolom terkecil.
  2. Selimut beton harus diberikan minimal 40 mm dari tepi terluar tulangan *longitudinal* dan *transversal*.
  3. Tulangan *longitudinal* harus dibuat menerus pada lantai tingkat kecuali tulangan *longitudinal* yang berfungsi sebagai kekangan beton.
  4. Tulangan *Transversal*, batang tulangan No. 3 (10 mm) berspasi maksimum 12 in. (305 mm) pusat ke pusat, atau batang tulangan No.

4 (13 mm) atau lebih besar harus digunakan spasi maksimum 16 in. (406 mm) pusat kepusat. Boleh digunakan tulangan kawat ulir atau kawat dilas dengan luas ekivalen. Spasi maksimum dari pengikat lateral tidak boleh melebihi 0,5 kali dimensi *kolom* terkecil.

- Kuat tekan beton  $f'c$  berkisar 21 hingga 70 MPa untuk beton normal.
- Tegangan leleh profil baja dan tulangan *longitudinal* tidak boleh melebihi 380 MPa.
- Rasio tulangan minimum  $\rho_{sr}$  sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus, dimana  $\rho_{sr}$  adalah :

$$\rho_{sr} = \frac{Asr}{Ag}$$

Keterangan :

$Ag$  = Luas bruto komponen struktur komposit,  $\text{mm}^2$

$Asr$  = Luas batang tulangan menerus,  $\text{mm}^2$

## 2.9.2 Kekuatan Kolom Komposit

Tata cara kekuatan tekan kolom baja diatur dalam *SNI 03-1729-2015* pasal E1. Kekuatan tekan desain  $\phi_c P_n$ , dan kekuatan tekan yang diizinkan,  $P_n / \Omega_c$ , komponen struktur kolom yang dibebani secara aksial simetris ganda harus ditentukan untuk keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi-lentur berdasarkan kelangsingan komponen struktur sebagai berikut :

$$Pu \leq \phi_c P_n \dots \dots \dots (2.117)$$

Dimana :



$$\phi_c = 0,90$$

$$P_u = \text{Beban terfaktor}$$

$$P_n = \text{kuat tekan nominal komponen struktur} = A_g \cdot f_{cr}$$

$$E_c = \text{Modulus elastisitas beton} = 0,043 W_c^{1,5} \sqrt{f'_c}, (\text{Mpa})$$

### 2.9.3 Panjang Efektif

Pada SNI 03-1729-2015 pasal E2, faktor panjang efektif (K) digunakan untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur (KL/r). Dalam hal ini struktur cukup diklasifikasikan menjadi 2 kategori dengan K yang berbeda, yaitu :

- Rangka tidak bergoyang :  $0,5 \leq K \leq 1,0$
- Rangka bergoyang :  $1,0 \leq K \leq \infty$

Panjang efektif kolom (LK) didapat dengan mengalikan suatu faktor panjang efektif (k) dengan panjang kolom (L), nilai “k” didapat dari nomogram, dengan menghitung nilai G, yaitu :

$$G = \frac{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{kolom}}}{\sum \left(\frac{I}{L}\right)_{\text{balok}}}$$

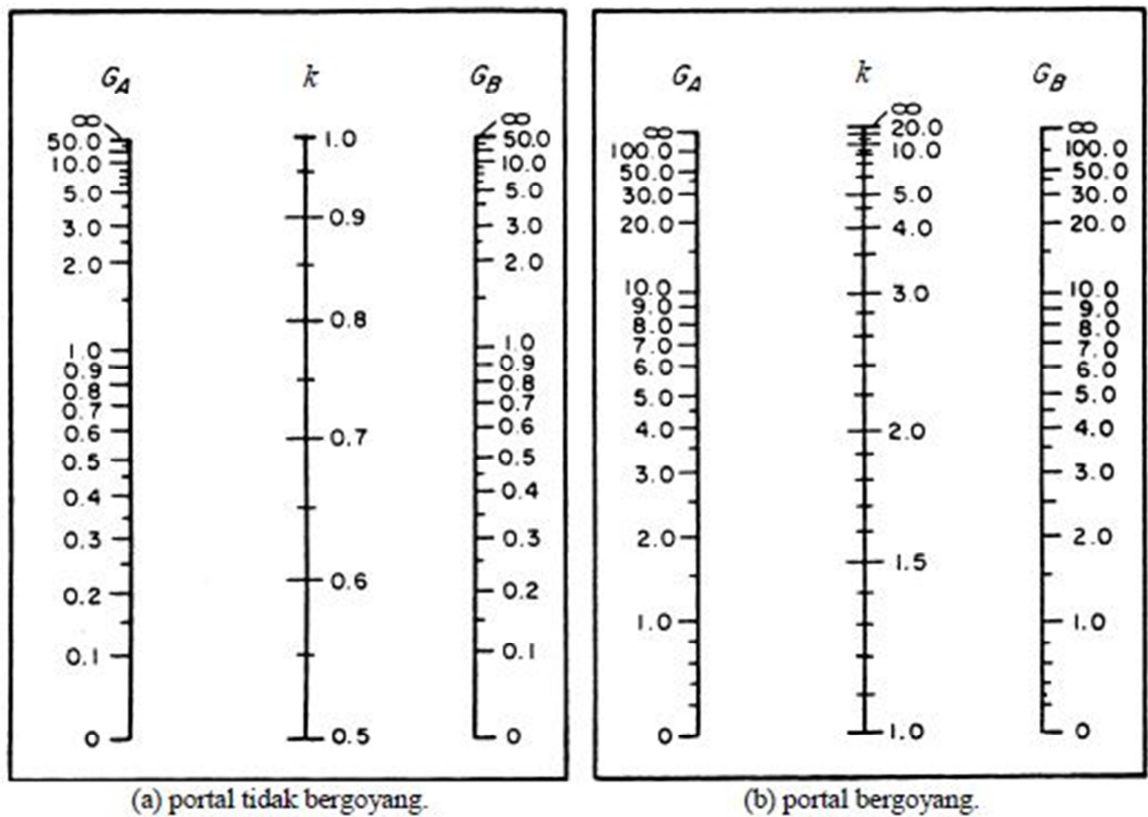
Dimana :

$$I = \text{Momen inersia kolom/balok (cm}^4\text{)}$$

$$L = \text{Panjang kolom/balok (cm)}$$

$$r = \text{Radius girasi penampang} = \sqrt{I/A}$$

catatan : Untuk komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif (KL/r), sebaiknya tidak melebihi 200.



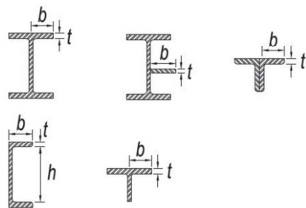
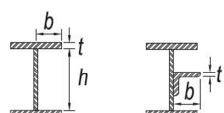
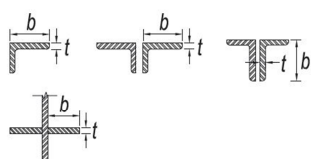
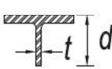
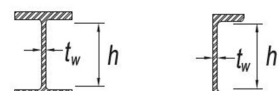
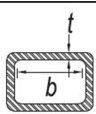
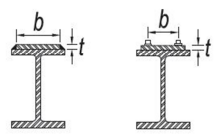
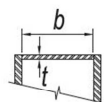
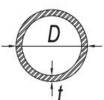
Gambar 2.30 Nomogram faktor panjang tekuk kolom portal

#### 2.9.4 Tekuk Lokal

SNI 03-1729-2015 pasal B4.1 untuk kondisi tekan, penampang diklasifikasikan sebagai elemen langsing atau penampang elemen langsing.

Untuk profil elemen non langsing, rasio tebal terhadap lebar dari elemen tekan tidak boleh melebihi  $\lambda_r$  dari tabel, jika rasio tersebut melebihi  $\lambda_r$ , disebut penampang dengan elemen langsing

Tabel 2.13 Rasio tebal terhadap lebar : Elemen tekan komponen struktur

|                       | Kasus | Elemen  | Rasio lebar-tebal | $\lambda_r$<br>batas tidak langsing  | Deskripsi penampang   |
|-----------------------|-------|---|-------------------|--------------------------------------|---|
| Elemen tanpa pengaku  | 1     | Sayap dari Profil I canai panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I canai panas; kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus, sayap dari kanal, dan sayap dari T-siku | $bt$              | $0,56\sqrt{E/F_y}$                   |    |
|                       | 2     | Sayap dari profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun   | $bt$              | $0,64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}^{[a]}$ |    |
|                       | 3     | Kaki dari siku tunggal, kaki dari siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tak diperkaku lainnya   | $bt$              | $0,45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |   |
|                       | 4     | stem dari T   | $dt$              | $0,75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |
| Elemen yang diperkaku | 5     | badan dari profil I simetris ganda dan kanal  | $h/t_w$           | $1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |
|                       | 6     | dinding PSB persegi dan boks dari ketebalan merata  | $bt$              | $1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |
|                       | 7     | Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara deretan sarana penyambung atau las   | $bt$              | $1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |
|                       | 8     | Semua elemen diperkaku lainnya  | $bt$              | $1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |
|                       | 9     | PSB bulat   | $Dt$              | $0,11\sqrt{\frac{E}{F_y}}$           |  |

### 2.9.5 Tekuk Lentur Struktur Tanpa Elemen Langsing

Pada SNI 03-1729-2015 pasal E3, kekuatan tekan nominal ( $P_n$ ) harus ditentukan berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur :

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), ditentukan sebagai berikut :

a. Bila  $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$

$$F_{cr} = \left( 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) \dots \dots \dots (2.118)$$

b. Bila  $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = \left( 0,877 \frac{F_y}{F_e} \right) \dots \dots \dots (2.119)$$

Dimana :

$A_g$  = Luas bruto dari komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )

$E$  = Elastisitas baja= 200000 Mpa

$F_y$  = Tegangan leleh minimum baja (Mpa)

$F_e$  = Tegangan tekuk kritis elastis =  $\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$

### 2.9.6 Tekuk Lentur Struktur Elemen Langsing

Kekuatan tekan nominal ( $P_n$ ) harus nilai terendah berdasarkan pada keadaan batas dari tekuk letur, tekuk torsi dan tekuk torsi-lentur yang sesuai.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

Tegangan kritis ( $F_{cr}$ ), ditentukan sebagai berikut :

$$\text{a. Bila } \frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{atau } \frac{QF_y}{F_e} \leq 2,25$$

$$F_{cr} = Q \left( 0,658 \frac{QF_y}{F_e} \right) F_y \dots \dots \dots (2.120)$$

$$\text{b. Bila } \frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{atau } \frac{QF_y}{F_e} > 2,25$$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_e \dots \dots \dots (2.121)$$

Dimana :

Q = Faktor reduksi neto yang menghitung untuk semua elemen tekan langsing  
 = 1,0 untuk komponen struktur tanpa elemen langsing, seperti dijelaskan dalam pasal B4.a untuk elemen dalam tekan merata  
 =  $Q_s$   $Q_a$  untuk komponen struktur dengan penampang elemen langsing, seperti dijelaskan pada pasal B4.1 untuk elemen dalam tekan merata.

## 2.10 Perencanaan Sambungan

Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Syarat – syarat sambungan :

- Harus kuat, aman tetapi cukup ekonomis.
- Mudah dalam pelaksanaan pemasangan dilapangan.
- Persyaratan keamanan yang diberikan DFBK untuk peyambung persamaannya menjadi :

$$R_u \leq \phi R_n \dots \dots \dots (2.122)$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).

$R_n$  = Kuat nominal baut

$R_u$  = Beban terfaktor

### 2.10.1 Perencanaan sambungan Baut

Ketentuan spesifikasi untuk perencanaan sambungan baut diatur dalam SNI 03-1729-2015 pasal J3 antara lain:

➤ Kontrol jarak antar baut :

a. Jarak baut ke tepi (S1)

*Tabel 2.14 Jarak Tepi Minimum*

| Diameter baut (in.) | Jarak tepi minimum |
|---------------------|--------------------|
| 1/2                 | 3/4                |
| 5/8                 | 7/8                |
| 3/4                 | 1                  |
| 7/8                 | 1 1/8              |
| 1                   | 1 1/4              |
| 1 1/8               | 1 1/2              |
| 1 1/4               | 1 5/8              |
| Di atas 1 1/4       | 1 1/4 x d          |

b. Jarak antar baut (S2)

Jarak antara pusat – pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang – lubang slot tidak boleh kurang dari  $2 \frac{2}{3}$  kali diameter nominal,  $d$ , dari pengencang, jarak  $3d$  yang lebih umum.

➤ Kuat nominal terhadap tarik dan geser :

$$\emptyset . Rn = fn . Ab \dots\dots\dots(2.123)$$

Dimana :

$Rn$  : Kuat tarik nominal

$\emptyset$  : Faktor reduksi tarik (0,75)

$fn$  : Tegangan tarik nominal,  $fnt$  , atau tegangan geser,  $fnv$   
(MPa)

$Ab$  : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir  
(mm<sup>2</sup>)

*Tabel 2.15 Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir*

| Deskripsi pengencang   | Kekuatan tarik nominal, $fnt$ (MPa) | Kekuatan geser nominal dalam sambungan tipe tumpu, $fnv$ (MPa) |
|--|-------------------------------------|--|
| Baut A307  | 310                                 | 188  |
| Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser | 620                                 | 372  |
| Baut group A(misal,A325), bila ulir                                      | 620                                 | 457  |

|   |            |             |
|---|------------|-------------|
| tidak termasuk dari bidang geser  |            |             |
| Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser                                | 780        | 457         |
| Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser                                    | 780        | 579         |
| Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser | 0,75 $f_u$ | 0,45 $f_u$  |
| Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser     | 0,75 $f_u$ | 0,563 $f_u$ |

➤ Kuat nominal tumpu pada lubang – lubang baut :

$$\phi . R_n = 1,2 . l_c . t_p . f_u \leq 2,4 . d . t_p . f_u \dots \dots \dots (2.124)$$

Dimana :

$R_n$  : Kuat tumpu nominal

$\phi$  : Faktor reduksi tumpu (0,75)

$f_u$  : Kuat tarik putus terendah dari baut atau plat (MPa)

$t_p$  : Tebal plat (mm)

$d$  : Diameter baut nominal (mm)

$l_c$  : Jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi dari baut atau plat (mm)

➤ Menentukan Jumlah Baut :

$$n = \frac{R_u}{\phi . R_n} \dots \dots \dots (2.125)$$



Dimana :

$n$  : Jumlah baut

$R_n$  : Tahanan nominal baut

$R_u$  : Beban terfaktor

➤ Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\phi \cdot R_n = f'_{nt} \cdot A_b \dots\dots\dots(2.126)$$

**Catatan** : Bila tegangan yang diperlukan ( $f_{rv}$ ) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f'_{nt} = 1,3 \cdot f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \cdot f_{nv}} f_{rv} \leq f_{nt} \dots\dots\dots(2.127)$$

Dimana :

$A_b$  : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir  
(mm<sup>2</sup>)

$f'_{nt}$  : Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek  
tegangan geser (MPa)

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

$f_{nt}$  : Tegangan tarik nominal (MPa)

$f_{nv}$  : Tegangan geser (MPa)

$f_{rv}$  : Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi  
beban DFBK (MPa)

➤ Kontrol terhadap momen :

$$\phi \cdot M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \dots\dots\dots(2.128)$$

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b} \dots\dots\dots(2.129)$$

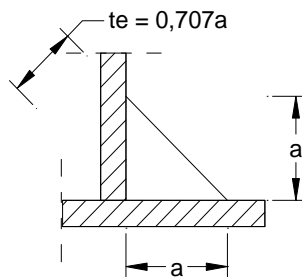
$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{ terjauh}) \dots \dots \dots (2.130)$$

Dimana :

- $n_1$  : Jumlah kolom baut
- $n_2$  : Jumlah baris baut
- $A_b$  : Luas penampang baut
- $b$  : Lebar balok
- $a$  : Tinggi penampang tekan
- $f_u^b$  : Kuat tarik nominal baut
- $f_y$  : Tegangan leleh

### 2.10.2 Sambungan Las pada Plat Ujung

Ketentuan spesifikasi untuk perencanaan sambungan las diatur dalam SNI 03-1729-2015 pasal J2 antara lain:



Gambar 2.31 Tebal(throat) efektif las sudut

➤ Tebal Las Sudut

*Tabel 2.16 Ukuran minimum las sudut*

| Tebal plat (t) mm   | Ukuran min. Las sudut, a (mm) |
|---------------------|-------------------------------|
| $t \leq 6$          | 3                             |
| $6 \leq t \leq 13$  | 5                             |
| $13 \leq t \leq 19$ | 6                             |
| $t > 19$            | 8                             |

Ukuran maksimum dari las sudut dari bagian – bagian yang tersambung harus :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, tidak lebih besar dari ketebalan material.
- Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

➤ Kontrol sambungan las

$$R_u \leq \phi R_{nw} \dots\dots\dots(2.131)$$

Dimana :

$R_u$  : Beban terfaktor las

$R_{nw}$  : Tahanan nominal per satuan panjang las

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

Tabel 2.17 Tipe Elektroda las

| Elektroda | Tegangan leleh minimum |       | Kuat tarik minimum ( $f_{uw}$ ) |       |
|-----------|------------------------|-------|---------------------------------|-------|
|           | (ksi)                  | (MPa) | (ksi)                           | (MPa) |
| E 60      | 50                     | 354   | 67                              | 460   |
| E 70      | 57                     | 495   | 70                              | 485   |
| E 80      | 67                     | 460   | 72                              | 495   |
| E 100     | 87                     | 600   | 100                             | 690   |
| E 110     | 97                     | 670   | 110                             | 760   |

Sumber: (Padosbajayo, 1994)

➤ Tahanan nominal Las

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \dots\dots\dots(2.132)$$

Dimana :

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

$t_e$  : Tebal efektif las (0,707a) dengan a = tebal las

sudut

$f_{uw}$  : Kuat tarik las

➤ Panjang Las yang dibutuhkan :

$$L_w = \frac{R_u}{\phi \times R_{nw}} \dots\dots\dots(2.133)$$

Dimana :

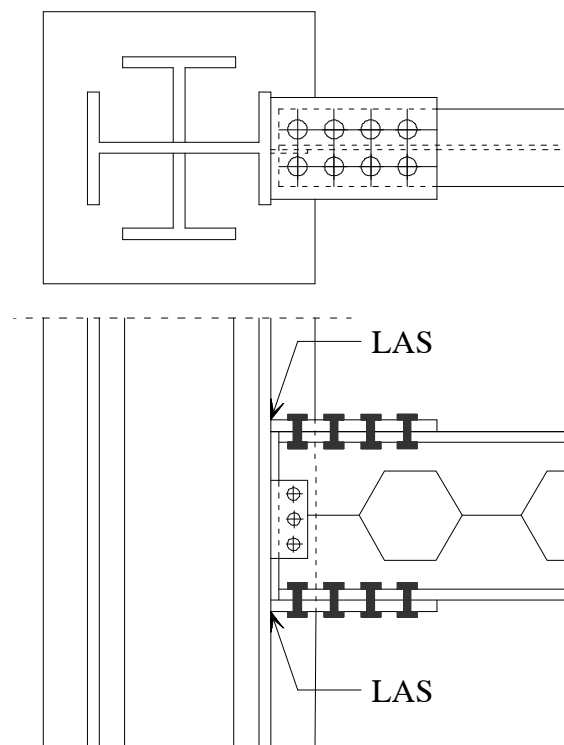
$L_w$  : Panjang las yang dibutuhkan

$R_u$  : Beban terfaktor (N)

$R_{nw}$  : Tahanan nominal per satuan panjang las (N/mm)

### 2.10.3 Sambungan Balok – Kolom

Sering kali selain dari pada sambungan fleksible juga sambungan digunakan untuk pemindahan momen yang besar disamping geseran. Dan persoalan ini kita temui pada konstruksi menerus seperti portal dan bangunan bertingkat. Didalam setiap persoalan sambungan harus direncanakan untuk dapat menahan momen dan gaya geser yang ada. Dalam hal ini memakai sambungan momen tipe Flange-Plated Connections ( AISC LRFD Manual pasal 10 halaman 10).

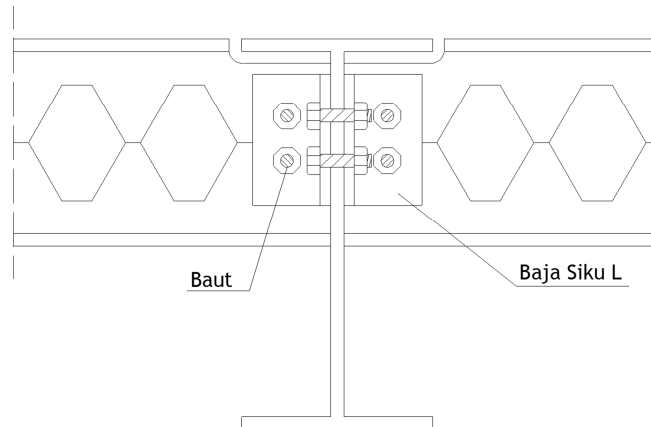


*Gambar 2.32 Sambungan Momen Balok – Kolom*

Kontrol Design kekuatan Balok :

$$Z_{req} = \frac{M_{pr}}{0,9 F_y} \dots\dots\dots(2. 134)$$

#### 2.10.4 Sambungan Balok Memanjang – Balok Melintang



*Gambar 2.33 Sambungan Balok memanjang ke balok melintang*

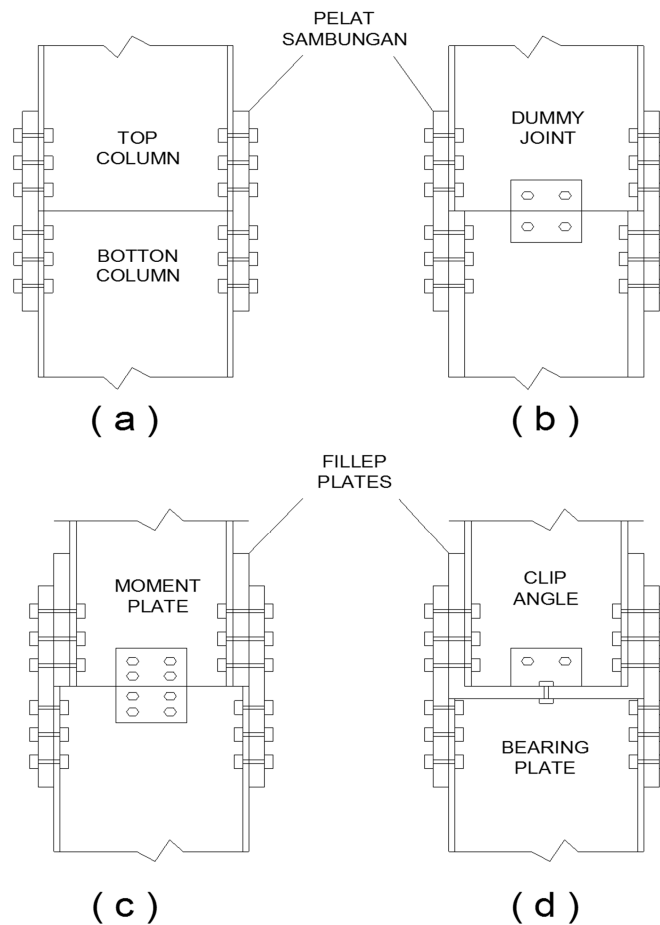
Bila balok merangka secara transversal ke gelagar atau balok lainnya, maka balok – balok tersebut mungkin ditempelkan ke salah satu ataupun kedua sisi dari badan gelagar dengan menggunakan sambungan balok dengan rangka sederhana atau dengan menggunakanudukan yang dikombinasikan dengan sambungan balok rangka. Untuk sambungan balok ke balok disarankan memberikan suatu sarana yang memungkinkan gaya tarik yang ada pada suatu flens balok akan ditahan melintasi balok ditahan melintasi balok disebelahnya pada sisi lain dari badan gelagar.

#### 2.10.5 Sambungan Kolom

Nama-nama sambungan didasarkan pada perencanaanya, yakni gaya dasar yang ada pada plat kolom. Sambungan yang dimaksudkan untuk menahan momen pada kolom disebut momen splices ( sambungan momen ), sedangkan untuk menahan gaya geser disebut shear splices ( sambungan geser ). Kolom dijadikan

subjek untuk tiga macam gaya yaitu gaya aksial, horizontal, dan momen puntir/torsi aksi individu atau kombinasi. Sambungan dalam bentuk plat diletakan pada sayap kolom untuk menahan beban aksial dan beban kombinasi untuk momen, atau diletakan pada badan untuk menahan gaya horizontal.

Tipe-tipe sambungan kolom dapat dilihat pada gambar 2.9, dimana pada gb.(a) kolom atas dan kolom bawah sama bentuknya dan disambung dengan plat penyambung pada sayapnya. Sambungan tipe ini hanya cocok untuk tekan aksial. Pada gb.(b) kolom bagian atas dan bawah mempunyai lebar yang sama, tetapi ketebalan sayap atas lebih tipis dari pada kolombawah. Sambungan ini disesuaikan hanya untuk kolom yang menerima gaya aksial saja. Gb.(c) memperhatikan dua kolom dengan lebar yang tidak sama dengan menggunakan *filler plates* ( plat pengisi ). Plat pengisi akan memberikan ketebalan untuk membuat kolom atas sama lebarnya seperti kolom bawah. Jika kolom menerima momen tambahan, jumlah baut yang sudah dihitung boleh menggunakan plat momen seperti terlihat pada gb.(c). Pada bagian yang lebarnya tidak sama, kadang-kadang diperlukan plat tumpuan kira-kira tebal 5 cm untuk mendapatkan tempat penghubung yang baik untuk mentransfer beban ke kolom bawah seperti terlihat pada gb.(d).

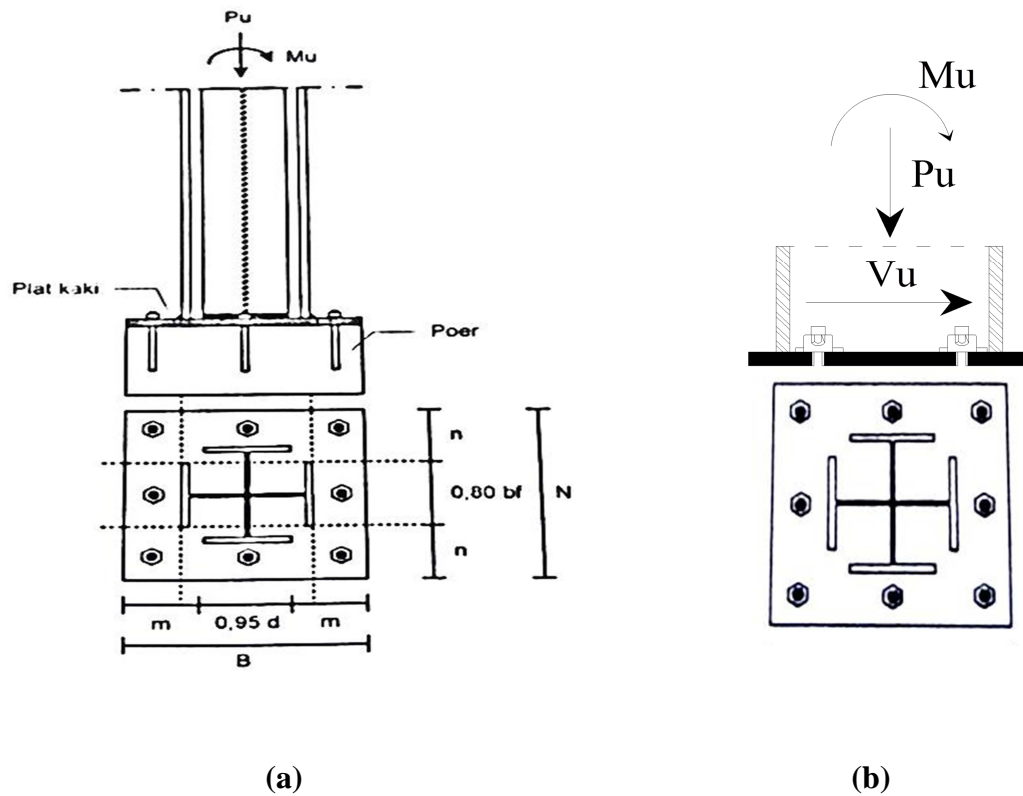


Gambar 2.34 Macam-macam sambungan kolom

## 2.11 Plat landasan (*Base plate*)

Dalam perencanaan suatu struktur baja , bagian penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah Plat landasan (*base plate*). Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu plat dasar, angkur serta sirip-sirip pengaku (*stiffener*). Suatu sturuktur base plate dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentransfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.





Gambar 2.35 (a) Notasi pada plat landasan /Base Plate, (b) Beban yang bekerja pada base plate

➤ Dimensi Base Plate :

$$A1 = B \times N \dots \dots \dots (2.135)$$

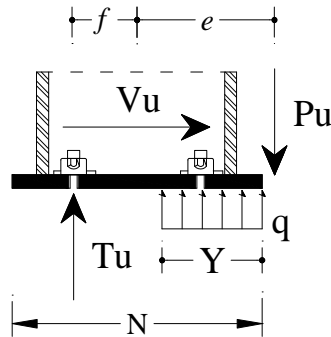
Dimana :

$N$  : Panjang base plate

$B$  : Lebar base plate

$A1$  : Luas permukaan base plate

➤ Perhitungan Eksentrisitas :



Gambar 2.36 Base Plate dengan eksentrisitas beban

$$e = \frac{Mu}{Pu} \dots \dots \dots (2.136)$$

Dimana :

e : Jarak Eksentrisitas (mm)

Mu : Momen yang terjadi (Nmm)

Pu : Gaya tekan yang terjadi (N)

➤ Perhitungan Tegangan Tumpu Pada Beton :

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'c \cdot B \sqrt{\frac{A2}{A1}} \dots \dots \dots (2.137)$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left(-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right)^2 - \frac{2Pu(f+e)}{q}} \dots \dots \dots (2.138)$$

$$Tu = q \cdot Y - Pu \dots \dots \dots (2.139)$$

Dimana :

$\phi_c$  : Faktor Reduksi (0,65)

$f'c$  : Kuat tekan beton

- $B$  : Lebar *base plate*
- $T_u$  : Gaya tarik pada angkur
- $q$  : Gaya merata pada plat (N/mm)
- $A_1$  : Luas *base plate*
- $A_2$  : Luas maksimum *base plate* yang menahan beban Konsentrik

➤ Perhitungan Angkur :

Angkur yang direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik.

1. Kontrol geser :

$$V_{ub} \leq \phi f_{nv} \times A_b \dots \dots \dots (2.140)$$

2. Kontrol Tarik

$$T_{ub} \leq \phi f_{nt} \times A_b \dots \dots \dots (2.141)$$

Dimana :

- $T_{ub}$  : Gaya tarik yang terjadi (N)
- $V_{ub}$  : Gaya geser yang terjadi (N)
- $A_b$  : Luas tubuh angkur (mm<sup>2</sup>)
- $\phi$  : Faktor reduksi (0,75)
- $f_{nt}$  : Tegangan tarik nominal (MPa)
- $f_{nv}$  : Tegangan geser (MPa)

➤ Tebal *Base Plate*

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \dots \dots \dots (2.142)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.b_f)}{2} \dots \dots \dots (2.143)$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \dots\dots\dots(2.144)$$

$$f = \frac{N}{2} - \text{Jarak as angkur dengan sisi terluar plat} \dots\dots\dots(2.145)$$

Maka :

$$tp = 2,11 \sqrt{\frac{Pu.m - \left(\frac{Y}{2}\right)}{B \cdot fy}} \dots\dots\dots(2.146)$$

Dimana :

tp : Tebal *base plate*

B : Lebar *base plate*

fy : Tegangan leleh baja

➤ Kontrol terhadap momen :

$$Mn \geq Mpl \dots\dots\dots(2.147)$$

$$Mpl = \frac{Tu \cdot x}{B} \dots\dots\dots(2.148)$$

$$Mn = Mp = \frac{tp^2}{4} \cdot fy \dots\dots\dots(2.149)$$

Dimana :

Mpl : Momen lentur terfaktor pada *base plate* (Nmm)

Mn : Momen nominal pada *base plate* (Nmm)

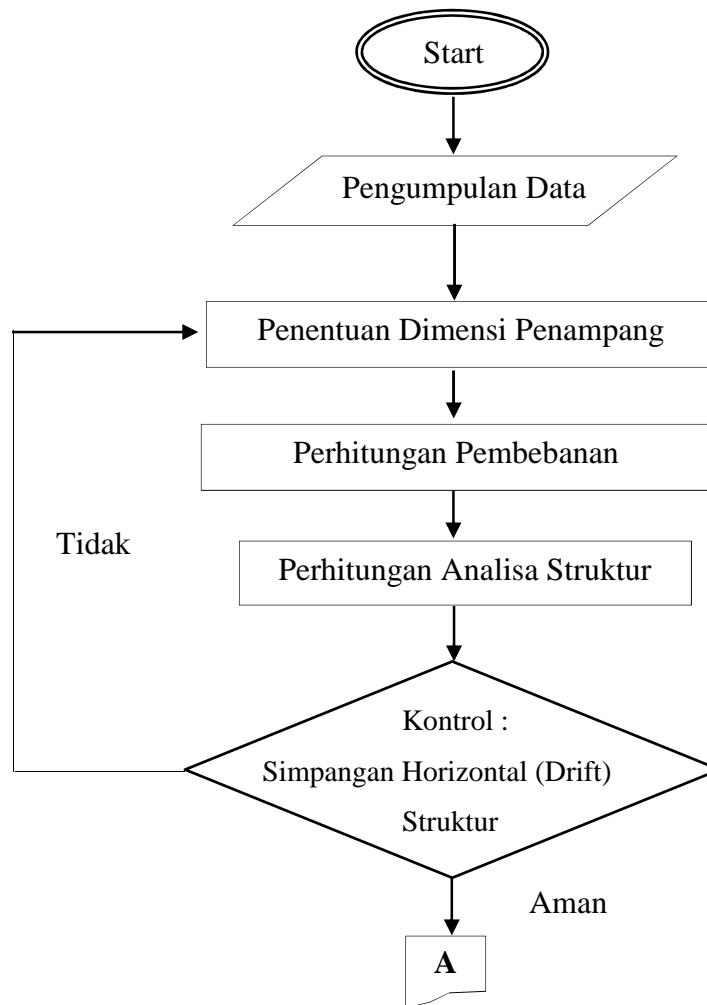
tp : Tebal *base plate*

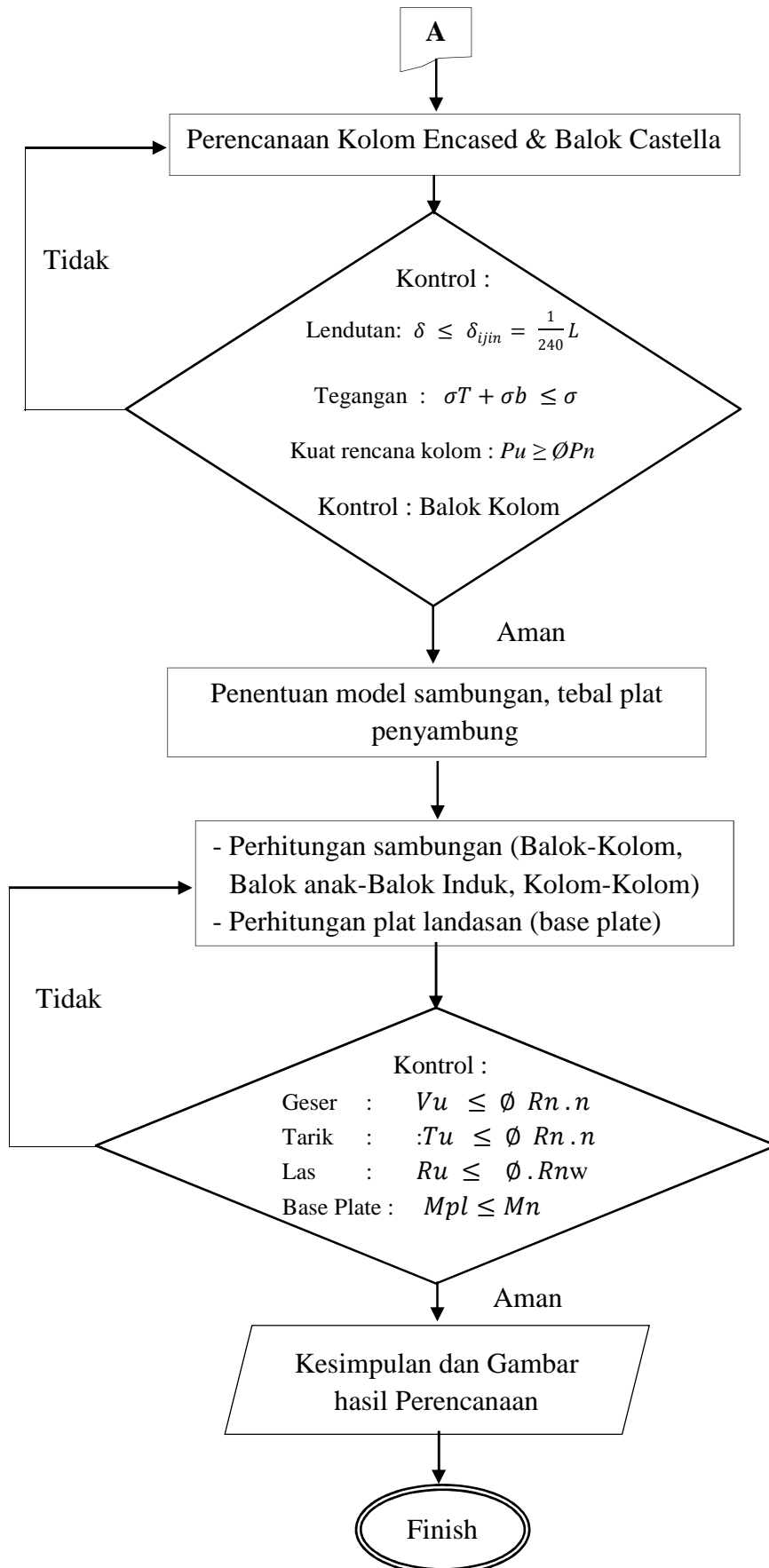
B : Lebar *base plate*

fy : Tegangan leleh baja (Mpa)

## 2.12 Diagram Alir Analisis

Diagram alir analisa perencanaan:





## **BAB III**

### **DATA PERENCANAAN**

#### **3.1 Data Struktur**

- Fungsi bangunan = Gedung Pendidikan
- Jumlah lantai = 8 Lantai
- Tinggi (portal) bangunan = 36 Meter dengan Atap
- Bentang Memanjang = 35 Meter
- Bentang Melintang = 15 Meter

#### **3.2 Data Pembebanan**

- Beban guna lantai utama = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban atap = 100 kg/m<sup>2</sup>
- Berat spesi = 21 kg/m<sup>2</sup>
- Berat dinding partisi (Gypsum) = 17 kg/m<sup>2</sup>
- Berat plafon + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
- Berat tegel / ubin = 24 kg/m<sup>2</sup>
- Berat 1/2 bata merah = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Berat Air Hujan = 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Berat jenis beton bertulang (w) = 2400 kg/m<sup>3</sup>
- Tebal Plat Lantai = 12 cm

*Sumber : SNI 1727 2013*

### 3.3 Data Perencanaan

|                                  |   |              |     |
|----------------------------------|---|--------------|-----|
| ● Mutu beton ( $f_c'$ )          | = | 30           | Mpa |
| ● Mutu baja konstruksi ( $f_y$ ) | = | 240          | Mpa |
| ● Mutu baja Tulangan( $f_y$ )    | = | 320          | Mpa |
| ● Mutu Wire mesh (BJ TS 50)      | = | 491          | Mpa |
| ● Mutu dek baja bergelombang     | = | 550          | Mpa |
| ● Profil balok Induk             | = | HC 600 x 200 |     |
| ● Profil balok anak              | = | HC 450 x 150 |     |
| ● Profil balok Cucu              | = | HC 300 x 100 |     |
| ● Profil Kolom                   | = | KC 588 x 300 |     |



### 3.4 Perencanaan dan Perhitungan Pelat Lantai Dengan Floor Deck

Data perencanaan :

1. Ketebalan deck baja bergelombang ( $t'$ ) = 0,75 mm
2.  $F_y$  dek baja bergelombang ( $f_{yd}$ ) = 5500 kg/cm<sup>2</sup>
3. Berat dek baja bergelombang = 10,1 kg/m<sup>2</sup>
4.  $F_y$  Wire Mesh ( $f_{yw}$ ) = 5000 kg/cm<sup>2</sup>
5. Direncanakan tebal plat = 120 mm

#### 3.4.1 Perhitungan Pembebanan Pelat

Pembebanan pelat lantai 1,2,3,4,5,6 dan 7

Beban Mati

- Berat Sendiri dek baja = 10,1 kg/m<sup>2</sup>
  - Berat Plat Beton = 0,12 x 2400 = 288 kg/m<sup>2</sup>
  - Berat Spasi (3 cm) = 3 x 21 = 63 kg/m<sup>2</sup>
  - Berat Tegel (1cm) = 1 x 24 = 24 kg/m<sup>2</sup>
  - Berat Plafon + Penggantung =  $\frac{1 \times (11+7)}{2}$  = 18 kg/m<sup>2</sup>
- $q_d = 403,1 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup

- Beban guna lantai  $q_l = 250 \text{ kg/m}^2$

Beban Terfaktor

- $q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$   
= 1,2 . 403,1 + 1,6 . 250  
= 883,72 kg/m<sup>2</sup>

### Pembebanan pelat Atap

#### Beban Mati

- Berat Sendiri dek baja  $= 10,1 \text{ kg/m}^2$
  - Berat Plat Beton  $= 0,1 \times 2400 = 240 \text{ kg/m}^2$
  - Berat Plafon + Penggantung  $= \frac{1 \times (11+7)}{2} = 18 \text{ kg/m}^2$
- 
- $q_d = 268,1 \text{ kg/m}^2$

#### Beban Hidup

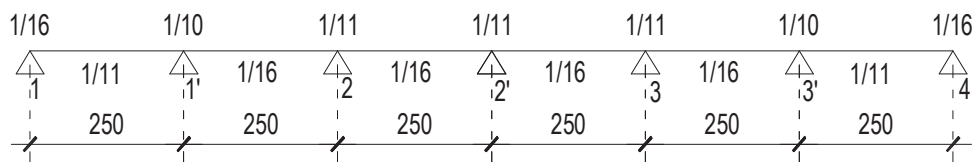
- Beban guna lantai atap  $= 100 \text{ kg/m}^2$
  - Beban air hujan ( $t=3\text{cm}$ )  $= 0,05 \times 1000 = 50 \text{ kg/m}^2$
- 
- $q_l = 150 \text{ kg/m}^2$

#### Beban Terfaktor

- $q_u = 1,2 q_d + 1,6 q_l$
- $= 1,2 \cdot 268,1 + 1,6 \cdot 150$
- $= 561,72 \text{ kg/m}^2$

### 3.4.2 Perhitungan Penulangan

#### 3.4.2.1 Pelat Lantai



#### Potongan Melintang Denah

Rumus Empiris untuk plat penulangan satu arah adalah :

(pustaka 5, hal 208)

#### Momen Tumpuan

$$M_1 = M_4 = \frac{1}{16} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{16} \cdot 883,72 \cdot 2,5^2 = 345,203 \text{ kgm}$$

$$M_{1'} = M_{3'} = \frac{1}{10} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot 883,72 \cdot 2,5^2 = 552,325 \text{ kgm}$$

$$M_2 = M_{2'} = M_3 = \frac{1}{11} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{11} \cdot 883,72 \cdot 2,5^2 = 502,114 \text{ kgm}$$

#### Momen Lapangan

$$M_{11'} = M_{3'4} = \frac{1}{11} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{11} \cdot 883,72 \cdot 2,5^2 = 502,114 \text{ kgm}$$

$$M_{1'2} = M_{22'} = M_{2'3} = M_{33'} = \frac{1}{16} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{16} \cdot 883,72 \cdot 2,5^2 = 345,2031 \text{ kgm}$$

#### ● Kontrol Momen Negative (Tumpuan)

$$M_{\max} = 552,325 \text{ kgm}$$

$$\text{Jadi, } Mu = 5523250 \text{ Nmm} = 5,52325 \text{ kNm}$$

$$\text{Direncanakan diameter tulangan, } \emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = d = 93 \text{ mm}$$

$$h^2 = 93 - 20 - \frac{1}{2} \cdot 8 = 69 \text{ mm}$$

$$d' = 93 - 69 = 24 \text{ mm}$$

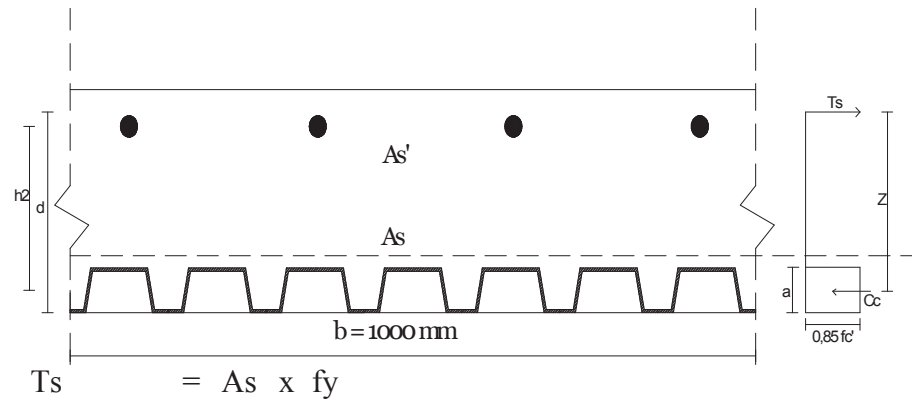
$$\text{Dicoba } \emptyset 8 - 100 \text{ mm}$$

$$As = \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 1000 \right) / 100 = 502,8571 \text{ mm}$$

$$A_s = A_s' = 502,857 \text{ mm}$$

Mencari garis netral :

Dimisalkan garis netral  $> d'$  :



$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 502,857143 \times 491 \\ &= 246902,857 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= T_s \\ &= 246902,857 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 1000 \times a \end{aligned}$$

$$246902,857 = 25500 a$$

$$a = \frac{246902,857}{25500}$$

$$a = 9,682 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} z &= h_2 - \frac{1}{2} a \\ &= 69 - \frac{1}{2} 9,682 \\ &= 64,159 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \times z \\
 &= 246902,857 \times 64,159 \\
 &= 15840983 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= M_n \times \phi \\
 &= 15840983 \times 0,85 \\
 &= 13464835,6 \text{ Nmm} \\
 &= 13,465 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$M_r > M_u$$

$$13,465 \text{ kNm} > 5,52325 \text{ kNm} \dots\dots \text{OK}$$

Jadi, dipasang dek baja bergelombang dengan ketebalan 0,75 mm dan wire mesh 1 lapis  $\varnothing$  8 - 100 mm pada daerah tumpuan

- Kontrol Momen Positive (Lapangan)

$$M_{\max} = 502,1136 \text{ kgm}$$

$$\text{Jadi, } M_u = 5021136,36 \text{ Nmm} = 5,021136364 \text{ kNm}$$

$$\text{Direncanakan diameter tulangan, } \varnothing = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = d = 93 \text{ mm}$$

$$h^2 = 93 - 20 - \frac{1}{2} 8 = 69 \text{ mm}$$

$$d' = 93 - 69 = 24 \text{ mm}$$

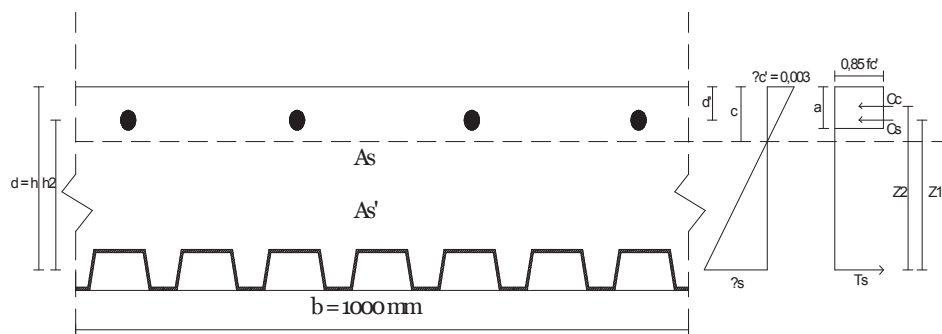
Dicoba  $\varnothing 8 - 100 \text{ mm}$

$$A_s = \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 1000 \right) / 100 = 502,8571 \text{ mm}$$

$$A_s = A_s' = 502,857 \text{ mm}$$

Mencari garis netral :

Dimisalkan garis netral  $> d'$  :



$$f_s = \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon_c' \times E_s = \frac{c-d'}{c} \times 0,003 \times 200000 = \frac{c-d'}{c} \times 600$$

$$f_s' = \frac{d-c}{c} \times \varepsilon_c' \times E_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 \times 200000 = \frac{d-c}{c} \times 600$$

$$\beta_1 = 0,85 - (f_c' - 30) \cdot 0,057/7 = 0,85$$

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s \cdot (f_s - 0,85 \cdot f_c') - A_s' \cdot f_s = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 1000) \cdot c + 502,9 \cdot \frac{d-c}{c} \times 600 - 0,85 \cdot f_c' \cdot$$

$$502,9 \cdot \frac{d-c}{c} \times 600 = 0$$

$$21675 \cdot c + 502,9 \left[ \frac{c-48}{c} \times 600 - 0,85 \cdot 30 \right] - 502,9 \cdot \frac{93 \cdot c}{c} \times 600 = 0$$

$$21675 \cdot c + \left[ \frac{288891 \cdot c - 14469463}{c} \right] - \left[ \frac{28059429 - 301714 \cdot c}{c} \right] = 0$$

$$\left( 21675 \cdot c + \left( \frac{288891 \cdot c - 14469463}{c} \right) - \left( \frac{28059429 - 301714 \cdot c}{c} \right) \right)$$

$$21675,000 \cdot c^2 + 288891,429 \cdot c - 14469462,86 - 28059428,6 + 301714,2857 \cdot c = 0$$

$$21675,000 \cdot c^2 + 590605,714 \cdot c - 42528891,43$$

Maka diperoleh nilai c,

$$c = 32,720 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \text{ atau } a = \beta \cdot c = 0,85 \cdot 32,720 = 27,8116 \text{ mm}$$

Selanjutnya dihitung nilai-nilai :

$$f_s = \frac{c-d'}{c} \times 600 = \frac{32,720 - 24,00}{32,720} \times 600 = 159,896 \text{ Mpa}$$

Karena  $f_s = 159,896 \text{ Mpa} < f_y = 320 \text{ Mpa}$ , maka dipakai

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = \frac{d-c}{c} \times 600 = \frac{93,000 - 32,72}{32,720} \times 600 = 1105,404 \text{ Mpa}$$

Karena  $f_s' = 1105,404 \text{ Mpa} > f_y = 320 \text{ Mpa}$ , maka dipakai

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \times a \times b$$

$$= 0,85 \times 30 \times 27,8116 \times 1000$$

$$= 709195,7736 \text{ N}$$

$$T_s = A_s' \times f_s'$$

$$= 0,75 \times 1000 \times 1000 \times 550$$

$$= 412500000 \text{ N}$$

$$C_s = A_s (f_s - 0,85 f_c')$$

$$= 502,85714 \times (159,896 - 0,85 \times 30)$$

$$= 67581,91536 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
Z1 &= d - \left( \frac{1}{2} \times a \right) \\
&= 93 - \left( \frac{1}{2} \times 27,8116 \right) \\
&= 79,094 \text{ mm} \\
Z2 &= d - d' \\
&= 93 - 24 \\
&= 69 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Karena  $a < d$ , maka

$$\begin{aligned}
Mn &= Cc \times Z1 + Cs \times Z2 \\
&= \left[ 709195,77 \times 79,094 \right] + \left[ 67581,92 \times 69 \right] \\
&= 56093272,72 + 4663152,16 \\
&= 60756424,883 \text{ Nmm} \\
Mr &= \phi \times Mn \\
&= 0,85 \times 60756424,883 \\
&= 51642961,15 \text{ Nmm} \\
&= 51,64296115 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Kontrol :

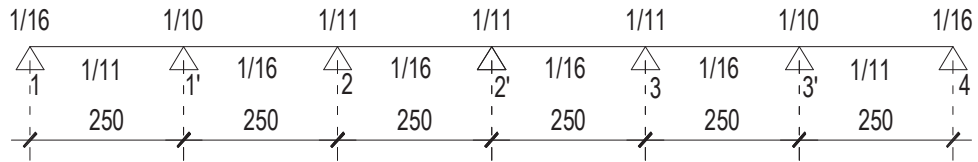
$$Mr > Mu$$

$$51,64296115 \text{ kNm} > 5,021136364 \text{ kNm} \dots\dots \text{OK}$$

Jadi, dipasang dek baja bergelombang dengan ketebalan 0,75 mm dan wire mesh 1 lapis  $\emptyset$  8 - 100 mm pada daerah Lapangan



### 3.4.2.2 Pelat Atap



Potongan Melintang Denah

Rumus Empiris untuk plat penulangan satu arah adalah :

(pustaka 5, hal 208)

Momen Tumpuan

$$M_1 = M_4 = \frac{1}{16} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{16} \cdot 561,72 \cdot 2,5^2 = 219,422 \text{ kgm}$$

$$M_{1'} = M_{3'} = \frac{1}{10} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{10} \cdot 561,72 \cdot 2,5^2 = 351,075 \text{ kgm}$$

$$M_2 = M_{2'} = M_3 = \frac{1}{11} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{11} \cdot 561,72 \cdot 2,5^2 = 319,159 \text{ kgm}$$

Momen Lapangan

$$M_{11'} = M_{3'4} = \frac{1}{11} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{11} \cdot 561,72 \cdot 2,5^2 = 319,159 \text{ kgm}$$

$$M_{1'2} = M_{22'} = M_{2'3} = M_{33'} = \frac{1}{16} \cdot qu \cdot l^2 = \frac{1}{16} \cdot 561,72 \cdot 2,5^2 = 219,4219 \text{ kgm}$$

- Kontrol Momen Negative (Tumpuan)

$$M_{\max} = 351,075 \text{ kgm}$$

$$\text{Jadi, } Mu = 3510750 \text{ Nmm} = 3,51075 \text{ kNm}$$

$$\text{Direncanakan diameter tulangan, } \emptyset = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = d = 93 \text{ mm}$$

$$h^2 = 93 - 20 - \frac{1}{2} 8 = 69 \text{ mm}$$

$$d' = 93 - 69 = 24 \text{ mm}$$

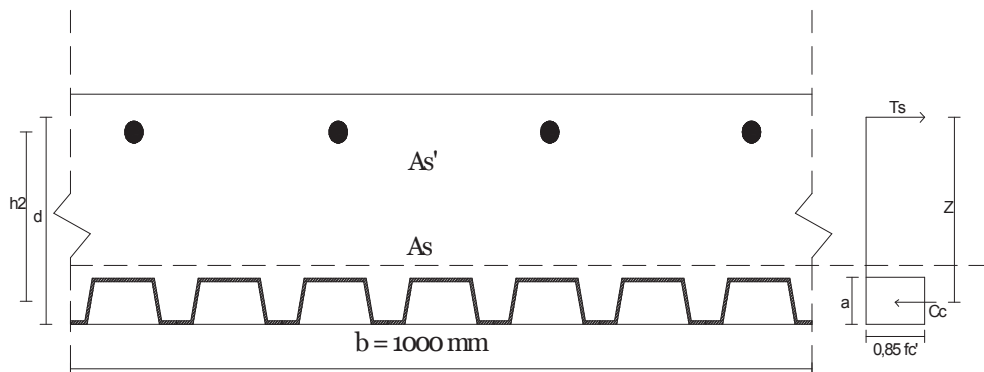
$$\text{Dicoba } \emptyset 8 - 100 \text{ mm}$$

$$A_s = \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 1000 \right) / 100 = 502,8571 \text{ mm}$$

$$A_s = A_s' = 502,857 \text{ mm}$$

Mencari garis netral :

Dimisalkan garis netral  $> d'$  :



$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 502,857143 \times 320 \\ &= 160914,286 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= T_s \\ &= 160914,286 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 f_c' \times b \times a \\ &= 0,85 \times 30 \times 1000 \times a \end{aligned}$$

$$160914,286 = 25500 a$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{160914,286}{25500} \\
 a &= 6,310 \text{ mm} \\
 z &= h/2 - \frac{1}{2} a \\
 &= 69 - \frac{1}{2} 6,310 \\
 &= 65,845 \text{ mm} \\
 M_n &= C_c \times z \\
 &= 160914,286 \times 65,845 \\
 &= 10595371,8 \text{ Nmm} \\
 M_r &= M_n \times \phi \\
 &= 10595371,8 \times 0,85 \\
 &= 9006066,07 \text{ Nmm} \\
 &= 9,006 \text{ kNm} \\
 \text{Kontrol :} \\
 M_r &> M_u \\
 9,006 \text{ kNm} &> 3,51075 \text{ kNm} \dots\dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang dek baja bergelombang dengan ketebalan 0,75 mm dan wire mesh 1 lapis  $\varnothing$  8 - 100 mm pada daerah tumpuan

- Kontrol Momen Positive (Lapangan)

$$M_{\max} = 319,1591 \text{ kgm}$$

$$\text{Jadi, } M_u = 3191590,91 \text{ Nmm} = 3,191590909 \text{ kNm}$$

$$\text{Direncanakan diameter tulangan, } \varnothing = 8 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = d = 93 \text{ mm}$$

$$h^2 = 93 - 20 - \frac{1}{2} 8 = 69 \text{ mm}$$

$$d' = 93 - 69 = 24 \text{ mm}$$

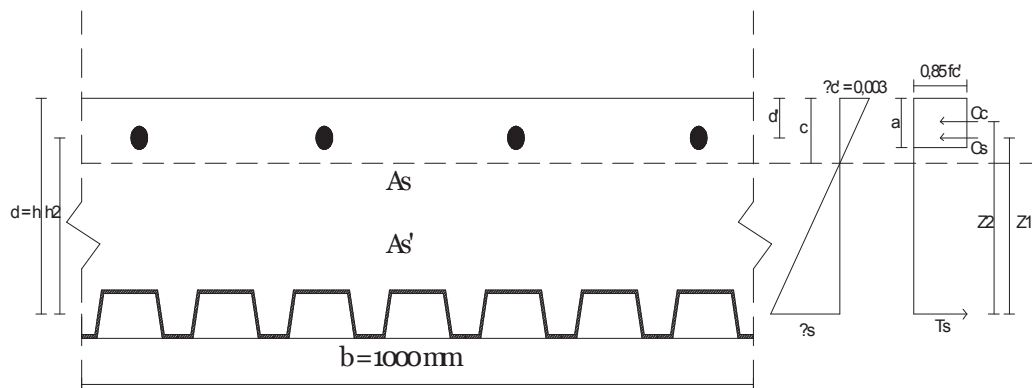
$$\text{Dicoba } \emptyset 8 - 100 \text{ mm}$$

$$A_s = \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 \times 1000 \right) / 100 = 502,8571 \text{ mm}$$

$$A_s = A_s' = 502,857 \text{ mm}$$

Mencari garis netral :

Dimisalkan garis netral  $> d'$  :



$$f_s = \frac{c-d'}{c} \times \epsilon c' \times E_s = \frac{c-d'}{c} \times 0,003 \times 200000 = \frac{c-d'}{c} \times 600$$

$$f_s' = \frac{d-c}{c} \times \epsilon c' \times E_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 \times 200000 = \frac{d-c}{c} \times 600$$

$$\beta_1 = 0,85 - (f_c' - 30) \cdot 0,057/7 = 0,85$$

$$\sum H = 0$$

$$C_c + C_s - T_s = 0$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b + A_s \cdot (f_s - 0,85 \cdot f_c') - A_s' \cdot f_s = 0$$

$$(0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 1000) \cdot c + 502,9 \cdot \frac{d-c}{c} \times 600 - 0,85 \cdot f_c' \cdot$$

$$502,9 \cdot \frac{d-c}{c} \times 600 = 0$$

$$\begin{aligned}
& 21675 \cdot c + 502,9 \left[ \frac{c-48}{c} \times 600 - 0,85 \cdot 30 \right] - 502,9 \frac{93 \cdot c}{c} \\
& \times 600 = 0 \\
& 21675 \cdot c + \left[ \frac{288891 \cdot c - 14469463}{c} \right] - \left[ \frac{28059429 - 301714 \cdot c}{c} \right] \\
& = 0 \\
& \left[ 21675 \cdot c + \left[ \frac{288891 \cdot c - 14469463}{c} \right] - \left[ \frac{28059429 - 301714 \cdot c}{c} \right] \right] \\
& \times c \\
& 21675,000 \cdot c^2 + 288891,429 \cdot c - 14469462,86 - 28059428,6 + \\
& 301714,2857 \cdot c = 0 \\
& 21675,000 \cdot c^2 + 590605,714 \cdot c - 42528891,43
\end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai c,

$$c = 32,720 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \text{ atau } a = \beta \cdot c = 0,85 \cdot 32,720 = 27,8116 \text{ mm}$$

Selanjutnya dihitung nilai-nilai :

$$f_s = \frac{c-d'}{c} \times 600 = \frac{32,720 - 24,00}{32,720} \times 600 = 159,896 \text{ Mpa}$$

Karena  $f_s = 159,896 \text{ Mpa} < f_y = 240 \text{ Mpa}$ , maka dipakai

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_s' = \frac{d-c}{c} \times 600 = \frac{93,000 - 32,72}{32,720} \times 600 = 1105,404 \text{ Mpa}$$

Karena  $f_s' = 1105,404 \text{ Mpa} > f_y = 240 \text{ Mpa}$ , maka dipakai

$$f_y = 320 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
C_c &= 0,85 \cdot f_c' \times a \times b \\
&= 0,85 \times 30 \times 27,8116 \times 1000 \\
&= 709195,7736 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_s &= A_s' \times f_s' \\
&= 0,75 \times 1000 \times 1000 \times 550
\end{aligned}$$

$$= 412500000 \text{ N}$$

$$C_s = A_s (f_s - 0,85 f_c')$$

$$= 502,85714 \times (159,896 - 0,85 \times 30)$$

$$= 67581,91536 \text{ N}$$

$$Z_1 = d - \left(\frac{1}{2} \times a\right)$$

$$= 93 - \left(\frac{1}{2} \times 27,8116\right)$$

$$= 79,094 \text{ mm}$$

$$Z_2 = d - d'$$

$$= 93 - 24$$

$$= 69 \text{ mm}$$

Karena  $a < d$ , maka

$$M_n = C_c \times Z_1 + C_s \times Z_2$$

$$= \left[ 709195,77 \times 79,094 \right] + \left[ 67581,92 \times 69 \right]$$

$$= 56093272,72 + 4663152,16$$

$$= 60756424,883 \text{ Nmm}$$

$$M_r = \phi \times M_n$$

$$= 0,85 \times 60756424,883$$

$$= 51642961,15 \text{ Nmm}$$

$$= 51,64296115 \text{ kNm}$$

Kontrol :

$$M_r > M_u$$

$$51,64296115 \text{ kNm} > 3,191590909 \text{ kNm} \dots\dots \text{OK}$$

Jadi, dipasang dek baja bergelombang dengan ketebalan 0,75 mm dan wire mesh 1 lapis  $\emptyset 8 - 100 \text{ mm}$  pada daerah Lapangan

### 3.5 Perhitungan berat Struktur

Dalam merencanakan struktur rangka baja menggunakan sistem rangka bresing eksentris, diperlukan beberapa data perencanaan sebagai berikut :

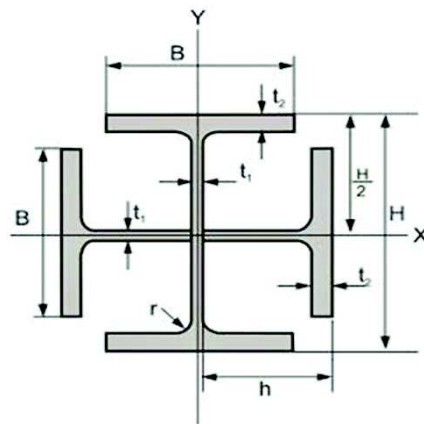
- Struktur Utama : Rangka Baja
- Sistem Struktur : SRPMK
- Mutu Baja : BJ 37
- Tegangan leleh minimum baja ( $f_y$ ) : 240 Mpa
- Mutu beton ( $f'_c$ ) : 30 Mpa
- Fungsi bangunan : Gedung Pendidikan
- Tebal plat atap : 0,10 m
- Tebal plat lantai : 0,12 m
- Luas Bangunan : 525,00 m<sup>2</sup>
- Panjang ( $x$ ) : 35,00 m
- Lebar ( $y$ ) : 15,00 m
- Tinggi bangunan : 36,00 m
- Jumlah lantai : 8lantai + atap
- Tinggi per lantai

|                       |              |   |                |
|-----------------------|--------------|---|----------------|
| Base                  | ke lantai 2  | = | 5,00 m         |
| Lantai 2              | ke lantai 3  | = | 4,00 m         |
| Lantai 3              | ke lantai 4  | = | 4,00 m         |
| Lantai 4              | ke lantai 5  | = | 4,00 m         |
| Lantai 5              | ke lantai 6  | = | 4,00 m         |
| Lantai 6              | ke lantai 7  | = | 4,00 m         |
| Lantai 7              | ke lantai 8  | = | 4,00 m         |
| Lantai 8              | ke Atap      | = | 4,00 m         |
| Atap                  | ke Atap lift | = | 3,00 m +       |
| Total tinggi bangunan |              | = | <u>36,00 m</u> |

Profil baja yang digunakan dalam perencanaan struktur Utama yakni profil baja WF, dengan dimensi sebagai berikut :

- Kolom Encased

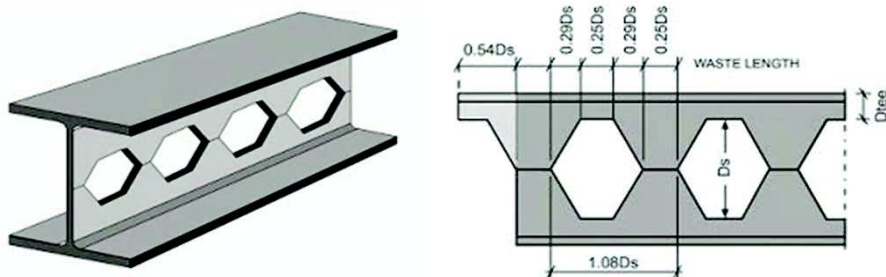
Digunakan profil baja King Cross 600 x 300 x 12 x 20



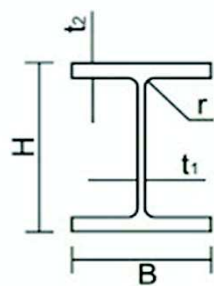
Dari tabel baja diperoleh :

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| $F_y$ : 240 Mpa  | $I_x$ : 127020,0 cm <sup>4</sup> |
| d : 600,0 mm     | $I_y$ : 132585,0 cm <sup>4</sup> |
| $b_f$ : 300,0 mm | $i_x$ : 18,16 cm                 |
| $t_w$ : 12,0 mm  | $i_y$ : 18,56 cm                 |
| $t_f$ : 20,0 mm  | $S_x$ : 1910,00 cm <sup>3</sup>  |
| r : 28,0 mm      | $S_y$ : 214,00 cm <sup>3</sup>   |
| h : 492,0 mm     | $Z_x$ : 2096,00 cm <sup>3</sup>  |
| w : 385,00 Kg/m  | $Z_y$ : 332,00 cm <sup>3</sup>   |

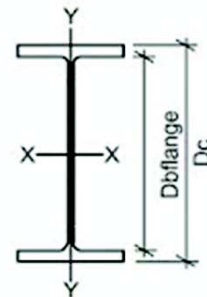
- Balok Castella







ORIGINAL SECTION



CASTELLATED SECTION

#### ■ Balok Induk

Digunakan profil baja Castellated 600 x 200 x 8.0 x 13.0

Dari tabel baja diperoleh :

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| d : 600,0 mm                    | w : 66,00 Kg/m                           |
| b <sub>f</sub> : 200,0 mm       | I <sub>x</sub> : 55683,6 cm <sup>4</sup> |
| t <sub>w</sub> : 8,0 mm         | I <sub>y</sub> : 1740,0 cm <sup>4</sup>  |
| t <sub>f</sub> : 13,0 mm        | i <sub>x</sub> : 29,00 cm                |
| r : 16,0 mm                     | i <sub>y</sub> : 5,10 cm                 |
| D <sub>s</sub> : 405,0 mm       | Z <sub>x</sub> : 1856,10 cm <sup>3</sup> |
| D <sub>tee</sub> : 97,5 mm      | Z <sub>y</sub> : 174,00 cm <sup>3</sup>  |
| Ag maks : 100,1 Cm <sup>2</sup> | Ag min : 67,7 Cm <sup>2</sup>            |

#### ● Balok Anak

Digunakan profil baja Castellated 450x 150 x 6,5 x 9

Dari tabel baja diperoleh :

|                           |  |
|---------------------------|--|
| d : 450,0 mm              | w : 36,70 Kg/m                           |
| b <sub>f</sub> : 150,0 mm | I <sub>x</sub> : 16895,1 cm <sup>4</sup> |
| t <sub>w</sub> : 6,5 mm   | I <sub>y</sub> : 508,0 cm <sup>4</sup>   |
| t <sub>f</sub> : 9,0 mm   | i <sub>x</sub> : 22,00 cm                |
| r : 13,0 mm               | i <sub>y</sub> : 3,70 cm                 |

$$\begin{aligned}
D_s &: 305,0 \text{ mm} & Z_x &: 750,90 \text{ cm}^3 \\
D_{tee} &: 72,5 \text{ mm} & Z_y &: 67,70 \text{ cm}^3 \\
A_{g \text{ maks}} &: 56,5 \text{ Cm}^2 & A_{g \text{ min}} &: 36,7 \text{ Cm}^2
\end{aligned}$$

- Balok Cucu

Digunakan profil baja Castellated 300x 100 x 5,5 x 8

Dari tabel baja diperoleh :

$$\begin{aligned}
d &: 300,0 \text{ mm} & w &: 21,30 \text{ Kg/m} \\
b_f &: 100,0 \text{ mm} & I_x &: 4306,8 \text{ cm}^4 \\
t_w &: 5,5 \text{ mm} & I_y &: 134,0 \text{ cm}^4 \\
t_f &: 8,0 \text{ mm} & i_x &: 14,00 \text{ cm} \\
r &: 11,0 \text{ mm} & i_y &: 2,50 \text{ cm} \\
D_s &: 205,0 \text{ mm} & Z_x &: 287,10 \text{ cm}^3 \\
D_{tee} &: 47,5 \text{ mm} & Z_y &: 26,80 \text{ cm}^3 \\
A_{g \text{ maks}} &: 32,7 \text{ Cm}^2 & A_{g \text{ min}} &: 21,4 \text{ Cm}^2
\end{aligned}$$

Besarnya beban yang bekerja pada struktur didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah dan Gedung (PPIUG) 1983. Adapun beban-beban yang bekerja pada struktur yakni sebagai berikut :

- Berat penutup lantai : 24,0 Kg/m<sup>2</sup>  
tebal keramik, 0.7cm : 24,0 Kg/m<sup>2</sup> x 0,7 cm = 16,8 Kg/m<sup>2</sup>
- Berat spesi (adukan) : 21,0 Kg/m<sup>2</sup>  
tebal spesi 3cm, maka : 21,0 Kg/m<sup>2</sup> x 3,0 cm = 63 Kg/m<sup>2</sup>
- Berat plafon : 11,0 Kg/m<sup>2</sup>
- Berat penggantung : 7,0 Kg/m<sup>2</sup>
- Berat beton bertulang : 2400,0 Kg/m<sup>3</sup>
- Beban hidup atap : 100,0 Kg/m<sup>2</sup>
- Beban hidup lantai : 250,0 Kg/m<sup>2</sup>

### 3.5.1 Berat Tingkat 1

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\text{Luas} = \text{Luas total} - \text{Luas Void}$$

$$= 503 - 43,8$$

$$= 459,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka berat plat} = 459,3 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 132264,0 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat plafon} = \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung}$$

$$= 11 + 7$$

$$= 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafon} = \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2$$

$$= 459,3 \times 18$$

$$= 8266,5 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- Berat ps Keramik} = \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi}$$

$$\text{per m}^2 = 16,8 + 63$$

$$= 79,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat ps keramik} = \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan}$$

$$= 79,8 \times 459,25$$

$$= 36648,2 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat balok} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

*Tabel 3.1 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 1*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok anak  
 $\Sigma$  : Jumlah balok anak  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.2 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 1*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok link  
 $\Sigma$  : Jumlah balok link  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.3 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 1*

| Balok  | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x | 300 x 100                       | 2,4                      | 21,3                   | 24                           | 1226,88     |

|                                     |           |     |      |   |       |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|---|-------|
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2 | 80,94 |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |   | 80,94 |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.4 Berat Klorom Tingkat 1*

| Kolom                            | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|----------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                             | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                            | 60x30x12x20    | 2,50             | 28                       | 385                    | 26950,00            |
| Atas                             | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                            | 80 x 80        | 2,50             | 28                       | 2687                   | 188090,00           |
| Total berat balok Link lantai 16 |                |                  |                          |                        | 338562              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.5 Berat dinding arah x dan y Tingkat 1*

| Dinding | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas    | Arah x | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 77             | 39270         |
|         | Arah y | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 9              | 4590          |

|                               |        |      |      |      |    |         |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|---------|
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,50 | 1700 | 77 | 49087,5 |
|                               | Aray y | 0,15 | 2,50 | 1700 | 66 | 42075   |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 135023  |

$$\text{Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.6. Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 1*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 77             | 392,7         |
|                               | Arah y | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 9              | 45,9          |
| Bawah                         | Arah x | 0,15            | 2,50             | 17                                  | 77             | 490,875       |
|                               | Aray y | 0,15            | 2,50             | 17                                  | 66             | 420,75        |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 1350,23       |

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\text{Berat total baja} = \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak}$$

$$+ \text{ berat balok cucu}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

Tabel 3.7 Total Berat Tingkat 1

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 338562,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 135022,50                 |
| Berat dinding Partisi           | 1350,23                   |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 671281,95                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 1 adalah :

$\sum W = W_{dead} + W_{live}$

= 671281,95 + 34443,8

= 705725,70 Kg

### 3.5.2 Berat Tingkat 2

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\text{Luas} = \text{Luas total} - \text{Luas Void}$$

$$= 503 - 43,8$$

$$= 459,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka berat plat} = 459,3 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 132264,0 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat plafon} = \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung}$$

$$= 11 + 7$$

$$= 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafon} = \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2$$

$$= 459,3 \times 18$$

$$= 8266,5 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- Berat ps Keramik} = \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi}$$

$$\text{per m}^2 = 16,8 + 63$$

$$= 79,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat ps keramik} = \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan}$$

$$= 79,8 \times 459,25$$

$$= 36648,2 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat balok} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja



*Tabel 3.8 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 2*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok anak  
 $\Sigma$  : Jumlah balok anak  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.9 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 2*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok link  
 $\Sigma$  : Jumlah balok link  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.10 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 2*

| Balok  | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x | 300 x 100                       | 2,4                      | 21,3                   | 24                           | 1226,88     |

|                                     |           |     |      |   |       |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|---|-------|
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2 | 80,94 |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |   | 80,94 |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.11 Berat Klorom Tingkat 2*

| Kolom                            | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|----------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                             | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                            | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Atas                             | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                            | 80 x 80        | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok Link lantai 16 |                |                  |                          |                        | 300944              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

B<sub>v</sub> : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3. 12 Berat dinding arah x dan y Tingkat 2*

| Dinding | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas    | Arah x | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 77             | 39270         |
|         | Arah y | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 9              | 4590          |

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Aray y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{- Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.13 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 2*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 77             | 392,7         |
|                               | Arah y | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 9              | 45,9          |
| Bawah                         | Arah x | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 77             | 392,7         |
|                               | Aray y | 0,15            | 2,00             | 17                                  | 66             | 336,6         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 1167,9        |

$$\text{- Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\text{Berat total baja} = \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak}$$

$$+ \text{ berat balok cucu}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

*Tabel 3.14 Total Berat Tingkat 2*

| Keterangan                   | Berat (w) dalam satuan kg |
|------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap              | 132264,00                 |
| Berat Plafon                 | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik           | 36648,15                  |
| Berat balok induk            | 13285,80                  |
| Berat kolom                  | 300944,00                 |
| Berat balok anak             | 2099,24                   |
| Berat balok cucu             | 80,94                     |
| Berat dinding                | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi        | 1167,90                   |
| Berat sambungan              | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w$ dead) | 615249,13                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 2 adalah :

$$\begin{aligned}
 \sum W &= W_{dead} + W_{live} \\
 &= 615249,13 + 34443,8 \\
 &= 649692,88 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

### 3.5.3 Berat Tingkat 3

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\text{Luas} = \text{Luas total} - \text{Luas Void}$$

$$= 503 - 43,8$$

$$= 459,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka berat plat} = 459,3 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 132264,0 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat plafon} = \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung}$$

$$= 11 + 7$$

$$= 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafon} = \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2$$

$$= 459,3 \times 18$$

$$= 8266,5 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- Berat ps Keramik} = \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi}$$

$$\text{per m}^2 = 16,8 + 63$$

$$= 79,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat ps keramik} = \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan}$$

$$= 79,8 \times 459,25$$

$$= 36648,2 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat balok} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana,  $L$  : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

$w$  : Berat profil baja

*Tabel 3.15 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 3*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok anak  
 $\Sigma$  : Jumlah balok anak  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.16 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 3*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok link  
 $\Sigma$  : Jumlah balok link  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.17 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 3*

| Balok | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|

|                                     |           |     |      |    |         |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|----|---------|
| Arah x                              | 300 x 100 | 2,4 | 21,3 | 24 | 1226,88 |
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2  | 80,94   |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |    | 80,94   |

$$\text{Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.18 Berat Kolom Tingkat 3*

| Kolom                            | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|----------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                             | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                            | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Atas                             | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                            | 80 x 80        | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok Link lantai 16 |                |                  |                          |                        | 300944              |

$$\text{Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.19 Berat dinding arah x dan y Tingkat 3*

| Dinding | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas    | Arah x | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 77             | 39270         |

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 9  | 4590   |
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Aray y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{- Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding (0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.20 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 3*

| Dinding                       | Arah   | tebal, $t$<br>(m) | Tinggi, $h$<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 77             | 31,416        |
|                               | Arah y | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 9              | 3,672         |
| Bawah                         | Arah x | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 77             | 31,416        |
|                               | Aray y | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 66             | 26,928        |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                   |                    |                                     |                | 93,432        |

$$\text{- Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total baja} &= \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak} \\ &+ \text{berat balok cucu} \end{aligned}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :



Tabel 3.21 Total Berat Tingkat 3

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 300944,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi           | 93,43                     |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 614174,66                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 3 adalah :

$$\begin{aligned}
 \sum W &= W_{dead} + W_{live} \\
 &= 614174,66 + 34443,8 \\
 &= 648618,41 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

### 3.5.4 Berat Tingkat 4

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= \text{Luas total} - \text{Luas Void} \\ &= 503 - 43,8 \\ &= 459,25 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka berat plat} &= 459,3 \times 0,12 \times 2400 \\ &= 132264,0 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{- Berat plafon} &= \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung} \\ &= 11 + 7 \\ &= 18 \text{ Kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat plafon} &= \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2 \\ &= 459,3 \times 18 \\ &= 8266,5 \text{ Kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{- Berat ps Keramik} &= \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi} \\ \text{per m}^2 &= 16,8 + 63 \\ &= 79,8 \text{ Kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat ps keramik} &= \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan} \\ &= 79,8 \times 459,25 \\ &= 36648,2 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{- Berat balok} &= L \times \sum \text{balok} \times w \\ \text{dimana, } L &: \text{Panjang bentang balok} \\ \sum &: \text{Jumlah balok} \\ w &: \text{Berat profil baja}\end{aligned}$$

*Tabel 3.22 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 4*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok anak  
 $\Sigma$  : Jumlah balok anak  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.23 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 4*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok link  
 $\Sigma$  : Jumlah balok link  
w : Berat profil baja

*Tabel 3.24 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 4*

| Balok | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|

|                                     |           |     |      |    |         |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|----|---------|
| Arah x                              | 300 x 100 | 2,4 | 21,3 | 24 | 1226,88 |
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2  | 80,94   |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |    | 80,94   |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.25 Berat Kolom Tingkat 4*

| Kolom                            | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|----------------------------------|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                             | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                            | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Atas                             | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                            | 80 x 80        | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok Link lantai 16 |                |                  |                          |                        | 300944              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.26 Berat dinding arah x dan y Tingkat 4*

| Dinding | Arah | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
|---------|------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
| Atas                          | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 9  | 4590   |
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Aray y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{- Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding (0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.27 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 4*

| Dinding                       | Arah   | tebal, $t$<br>(m) | Tinggi, $h$<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 52             | 21,216        |
|                               | Arah y | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 19,5           | 7,956         |
| Bawah                         | Arah x | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 55,5           | 22,644        |
|                               | Aray y | 0,012             | 2,00               | 17                                  | 29             | 11,832        |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                   |                    |                                     |                | 63,648        |

$$\text{- Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total baja} &= \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak} \\ &+ \text{berat balok cucu} \end{aligned}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

Tabel 3.28 Total Berat Tingkat 4

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 300944,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi           | 63,65                     |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 614144,88                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 4 adalah :

$$\begin{aligned}
 \sum W &= W_{dead} + W_{live} \\
 &= 614144,88 + 34443,8 \\
 &= 648588,63 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

### 3.5.5 Berat Tingkat 5

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

- Berat plat lantai = Luas plat x tebal plat x berat volum beton

Luas = Luas total - Luas Void

= 503 - 43,8

= 459,25 m<sup>2</sup>

Maka berat plat = 459,3 x 0,12 x 2400

= 132264,0 Kg

- Berat plafon = Berat Plafon + Berat penggantung

= 11 + 7

= 18 Kg/m<sup>2</sup>

Berat plafon = Luas Plafon x berat plafon per m<sup>2</sup>

= 459,3 x 18

= 8266,5 Kg/m<sup>2</sup>

- Berat ps Keramik = Berat Keramik + berat spesi

per m<sup>2</sup> = 16,8 + 63

= 79,8 Kg/m<sup>2</sup>

Berat ps keramik = Berat ps keramik per m<sup>2</sup> x luasan

= 79,8 x 459,25

= 36648,2 Kg

- Berat balok = L x  $\sum$  balok x w

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

*Tabel 3.29 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 5*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

$$\text{- Berat balok anak} = L \times \Sigma \text{ balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok anak

$\Sigma$  : Jumlah balok anak

w : Berat profil baja

*Tabel 3.30 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 5*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

$$\text{- Berat balok Cucu} = L \times \Sigma \text{ balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok link

$\Sigma$  : Jumlah balok link

w : Berat profil baja

*Tabel 3.31 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 5*

| Balok | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|



|                                     |           |     |      |    |         |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|----|---------|
| Arah x                              | 300 x 100 | 2,4 | 21,3 | 24 | 1226,88 |
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2  | 80,94   |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |    | 80,94   |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.32 Berat Klorom Tingkat 5*

| Kolom                                   | Elemen<br>(cm)            | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\Sigma$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|---|---------------------------|------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                                    | King Cross<br>60x30x12x20 | 2,00             | 28                         | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                                   |                           | 2,00             | 28                         | 385                    | 21560,00            |
| Atas                                    | Beton<br>80 x 80          | 2,00             | 28                         | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                                   |                           | 2,00             | 28                         | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok <i>Link</i> lantai 16 |                           |                  |                            |                        | 300944              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.33 Berat dinding arah x dan y Tingkat 5*

| Dinding | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas    | Arah x | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 77             | 39270         |

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 9  | 4590   |
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{- Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.34 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 5*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 59             | 24,072        |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 19             | 7,752         |
| Bawah                         | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 52             | 21,216        |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 19,5           | 7,956         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 60,996        |

$$\text{- Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total baja} &= \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak} \\ &\quad + \text{berat balok cucu} \end{aligned}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

Tabel 3.35 Total Berat Tingkat 5

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 300944,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi           | 61,00                     |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 614142,22                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 5 adalah :

$\sum W = W_{dead} + W_{live}$

= 614142,22 + 34443,8

= 648585,97 Kg

### 3.5.6 Berat Tingkat 6

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\text{Luas} = \text{Luas total} - \text{Luas Void}$$

$$= 503 - 43,8$$

$$= 459,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka berat plat} = 459,3 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 132264,0 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat plafon} = \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung}$$

$$= 11 + 7$$

$$= 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafon} = \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2$$

$$= 459,3 \times 18$$

$$= 8266,5 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- Berat ps Keramik} = \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi}$$

$$\text{per m}^2 = 16,8 + 63$$

$$= 79,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat ps keramik} = \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan}$$

$$= 79,8 \times 459,25$$

$$= 36648,2 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat balok} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

Tabel 3.36 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 6

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok anak  
 $\Sigma$  : Jumlah balok anak  
w : Berat profil baja

Tabel 3.37 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 6

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \Sigma \text{ balok} \times w$   
dimana, L : Panjang bentang balok link  
 $\Sigma$  : Jumlah balok link  
w : Berat profil baja

Tabel 3.38 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 6

| Balok  | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x | 300 x 100                       | 2,4                      | 21,3                   | 24                           | 1226,9      |

|                                     |           |     |      |   |       |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|---|-------|
| Arah x                              | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2 | 80,94 |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |   | 80,94 |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.39 Berat Klorom Tingkat 6*

| Kolom                                   | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|---|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                                    | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                                   | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Atas                                    | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                                   | 80 x 80        | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok <i>Link</i> lantai 16 |                |                  |                          |                        | 300944              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.40 Berat dinding arah x dan y Tingkat 6*

| Dinding | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|--------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas    | Arah x | 0,15            | 2,00             | 1700                             | 77             | 39270         |

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
| Atas                          | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 9  | 4590   |
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.41 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 6*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 77             | 31,416        |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 9              | 3,672         |
| Bawah                         | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 59             | 24,072        |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 19             | 7,752         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 66,912        |

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total baja} &= \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok} \\ &\quad \text{anak} + \text{berat balok cucu} \end{aligned}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

*Tabel 3.42 Total Berat Tingkat 6*

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 300944,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi           | 66,91                     |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 614148,14                 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 6 adalah :

$$\sum W = W_{dead} + W_{live}$$

$$= 614148,14 + 34443,8$$

$$= 648591,89 \text{ Kg}$$



### 3.5.7 Berat Tingkat 7

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

$$\text{- Berat plat lantai} = \text{Luas plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat volum beton}$$

$$\text{Luas} = \text{Luas total} - \text{Luas Void}$$

$$= 503 - 43,8$$

$$= 459,25 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka berat plat} = 459,3 \times 0,12 \times 2400$$

$$= 132264,0 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat plafon} = \text{Berat Plafon} + \text{Berat penggantung}$$

$$= 11 + 7$$

$$= 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafon} = \text{Luas Plafon} \times \text{berat plafon per m}^2$$

$$= 459,3 \times 18$$

$$= 8266,5 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{- Berat ps Keramik} = \text{Berat Keramik} + \text{berat spesi}$$

$$\text{per m}^2 = 16,8 + 63$$

$$= 79,8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat ps keramik} = \text{Berat ps keramik per m}^2 \times \text{luasan}$$

$$= 79,8 \times 459,25$$

$$= 36648,2 \text{ Kg}$$

$$\text{- Berat balok} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

*Tabel 3.43 Berat Balok induk arah x dan y tingkat 7*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                           | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                            | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                           | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                            | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 13285,8     |

$$\text{- Berat balok anak} = L \times \Sigma \text{ balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok anak

$\Sigma$  : Jumlah balok anak

w : Berat profil baja

*Tabel 3.44 Berat Balok Anak arah x dan y Tingkat 7*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                            | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                           | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                              | 2099,24     |

$$\text{- Berat balok Cucu} = L \times \Sigma \text{ balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok link

$\Sigma$  : Jumlah balok link

w : Berat profil baja

*Tabel 3.45 Berat Balok cucu arah x dan y Tingkat 7*

| Balok | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\Sigma$ ) | Berat<br>Kg |
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
|-------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|

|                                     |           |     |      |    |         |
|-------------------------------------|-----------|-----|------|----|---------|
| Arah x                              | 300 x 100 | 2,4 | 21,3 | 24 | 1226,88 |
|                                     | 300 x 100 | 1,9 | 21,3 | 2  | 80,94   |
| Total berat balok cucu arah x dan y |           |     |      |    | 80,94   |

$$\text{- Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.46 Berat Kolom Tingkat 7*

| Kolom                                   | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\sum$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|---|----------------|------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                                    | King Cross     | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Bawah                                   | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                       | 385                    | 21560,00            |
| Atas                                    | Beton          | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Bawah                                   | 80 x 80        | 2,00             | 28                       | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok <i>Link</i> lantai 16 |                |                  |                          |                        | 300944              |

$$\text{- Berat Dinding} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana, t : tebal dinding (0,15 m)

h : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

L : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.47 Berat dinding arah x dan y Tingkat 7*

| Dinding | Arah | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|---------|------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
|---------|------|-----------------|------------------|----------------------------------|----------------|---------------|

|                               |        |      |      |      |    |        |
|-------------------------------|--------|------|------|------|----|--------|
| Atas                          | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Arah y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 9  | 4590   |
| Bawah                         | Arah x | 0,15 | 2,00 | 1700 | 77 | 39270  |
|                               | Aray y | 0,15 | 2,00 | 1700 | 66 | 33660  |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |      |      |      |    | 116790 |

$$\text{- Berat Dinding Partisi} = t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$$

dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.48 Berat Dinding partisi arah x dan y Tingkat 7*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 41             | 16,728        |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 12             | 4,896         |
| Bawah                         | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 77             | 31,416        |
|                               | Aray y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 9              | 3,672         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 56,712        |

$$\text{- Berat sambungan} = 10 \% \times \text{berat total baja yg digunakan}$$

$$\text{Berat total baja} = \text{Berat kolom} + \text{berat balok induk} + \text{berat balok anak}$$

$$+ \text{ berat balok cucu}$$

$$= 21560,00 + 13285,8 + 2099,24$$

$$+ 80,94$$

$$= 37025,98 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat sambungan} = 10 \% \times 37025,98$$

$$= 3702,6 \text{ Kg}$$

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

*Tabel 3.49 Total Berat Tingkat 7*

| Keterangan                      | Berat (w) dalam satuan kg |
|---------------------------------|---------------------------|
| Berat plat atap                 | 132264,00                 |
| Berat Plafon                    | 8266,50                   |
| Berat pas. Keramik              | 36648,15                  |
| Berat balok induk               | 13285,80                  |
| Berat kolom                     | 300944,00                 |
| Berat balok anak                | 2099,24                   |
| Berat balok cucu                | 80,94                     |
| Berat dinding                   | 116790,00                 |
| Berat dinding Partisi           | 56,71                     |
| Berat sambungan                 | 3702,60                   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 614137,94                 |

#### **b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

Luas = Luas plat dalam - luas void

= 503 - 43,75

= 459,3 m<sup>2</sup>

beban plat lantai = 459,3 x 250 x 0,3

= 34443,8 Kg

Maka total beban yang terjadi pada Tingkat 7 adalah :

$$\sum W = W_{dead} + W_{live}$$

$$= 614137,94 + 34443,8$$

$$= 648581,69 \text{ Kg}$$

### 3.5.8 Berat Atap

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

- Berat plat lantai = Luas plat x tebal plat x berat volum beton

Luas = Luas total - Luas Void

= 503 - 43,8

= 459,25 m<sup>2</sup>

Maka berat plat = 459,3 x 0,1 x 2400

= 110220,0 Kg

- Berat plafon = Berat Plafon + Berat penggantung

= 11 + 7

= 18 Kg/m<sup>2</sup>

Berat plafon = Luas Plafon x berat plafon per m<sup>2</sup>

= 459,3 x 18

= 8266,5 Kg/m<sup>2</sup>

- Berat balok =  $L \times \sum \text{balok} \times w$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

*Tabel 3.50 Berat Balok induk arah x dan y Atap*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 16                         | 5702,4      |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 5                          | 1617        |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 20                         | 5808        |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 1                          | 158,4       |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 13285,8     |

- Berat balok anak =  $L \times \sum \text{balok} \times w$   
dimana,  $L$  : Panjang bentang balok anak  
 $\sum$  : Jumlah balok anak  
 $w$  : Berat profil baja

*Tabel 3.51 Berat Balok Anak arah x dan y Atap*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                          | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                         | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 2099,24     |

- Berat balok Cucu =  $L \times \sum \text{balok} \times w$   
dimana,  $L$  : Panjang bentang balok link  
 $\sum$  : Jumlah balok link  
 $w$  : Berat profil baja

*Tabel 3.52 Berat Balok cucu arah x dan y Atap*

| Balok                               | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                              | 300 x 100                       | 2,4                      | 21,3                   | 24                         | 1226,88     |
|                                     | 300 x 100                       | 1,9                      | 21,3                   | 2                          | 80,94       |
| Total berat balok cucu arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 80,94       |

- Berat Kolom =  $H \times \sum \text{kolom} \times w$   
dimana,  $H$  : Tinggi Kolom  
 $\sum$  : Jumlah Kolom  
 $w$  : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.53 Berat Klom Atap*

| Kolom                                   | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\Sigma$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|---|----------------|------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                                    | King Cross     | 2,00             | 1                          | 385                    | 770,00              |
| Bawah                                   | 60x30x12x20    | 2,00             | 28                         | 385                    | 21560,00            |
| Atas                                    | Beton          | 2,00             | 1                          | 2687                   | 5374,00             |
| Bawah                                   | 80 x 80        | 2,00             | 28                         | 2687                   | 150472,00           |
| Total berat balok <i>Link</i> lantai 16 |                |                  |                            |                        | 155846              |

- Berat Dinding =  $t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$

dimana,  $t$  : tebal dinding (0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.54 Berat dinding arah x dan y Atap*

| Dinding                       | Arah   | tebal, $t$<br>(m) | Tinggi, $h$<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,15              | 2,00               | 1700                             | 8,5            | 4335          |
|                               | Arah y | 0,15              | 2,00               | 1700                             | 8              | 4080          |
| Bawah                         | Arah x | 0,15              | 2,00               | 1700                             | 77             | 39270         |
|                               | Aray y | 0,15              | 2,00               | 1700                             | 66             | 33660         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                   |                    |                                  |                | 81345         |



- Berat Dinding Partisi =  $t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$   
dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)  
 $h$  : tinggi dinding (m)  
 $B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)  
 $L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.55 Berat Dinding partisi arah x dan y Atap*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 0              | 0             |
|                               | Arah y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 0              | 0             |
| Bawah                         | Arah x | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 41             | 16,728        |
|                               | Aray y | 0,012           | 2,00             | 17                                  | 12             | 4,896         |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 21,624        |

- Berat sambungan = 10 % x berat total baja yg digunakan  
Berat total baja = Berat kolom +berat balok induk +berat balok anak  
+ berat balok cucu  
= 770,00 + 13285,8 + 2099,24  
+ 80,94  
= 16235,98 Kg  
Berat sambungan = 10 % x 16235,98  
= 1623,6 Kg

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

*Tabel 3.56 Total Berat Atap*

| Keterangan      | Berat (w) dalam satuan kg |
|-----------------|---------------------------|
| Berat plat atap | 110220,00                 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| Berat Plafon                    | 8266,50   |
| Berat balok induk               | 13285,80  |
| Berat kolom                     | 155846,00 |
| Berat balok anak                | 2099,24   |
| Berat balok cucu                | 80,94     |
| Berat dinding                   | 81345,00  |
| Berat dinding Partisi           | 21,62     |
| Berat sambungan                 | 1623,60   |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 372788,70 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= \text{Luas plat dalam} - \text{luas void} \\
 &= 503 - 43,75 \\
 &= 459,3 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{beban plat lantai} &= 459,3 \times 100 \times 0,3 \\
 &= 13777,5 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

- Beban air Hujan = Luasan x tebal genangan air x berat jenis air

$$\begin{aligned}
 &= 459,25 \times 0,05 \times 1000 \\
 &= 22962,5 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total beban hidup} &= 13777,5 + 22962,5 \\
 &= 36740,0 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Maka total beban yang terjadi pada Atap adalah :

$$\begin{aligned}
 \sum W &= W_{dead} + W_{live} \\
 &= 372788,70 + 36740,0 \\
 &= 409528,70 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

### 3.5.9 Berat Atap Lift

#### a. Beban Mati ( $W_{dead}$ )

- Berat plat lantai = Luas plat x tebal plat x berat volum beton

Luas = Luas total - Luas Void

= 503 - 43,8

= 459,25 m<sup>2</sup>

Maka berat plat = 459,3 x 0,1 x 2400

= 110220,0 Kg

- Berat plafon = Berat Plafon + Berat penggantung

= 11 + 7

= 18 Kg/m<sup>2</sup>

Berat plafon = Luas Plafon x berat plafon per m<sup>2</sup>

= 459,3 x 18

= 8266,5 Kg/m<sup>2</sup>

- Berat balok =  $L \times \sum \text{balok} \times w$

dimana, L : Panjang bentang balok

$\sum$  : Jumlah balok

w : Berat profil baja

*Tabel 3.57 Berat Balok induk arah x dan y Atap Lift*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                               | 600 x 300                       | 5,4                      | 66                     | 0                          | 0           |
|                                      | 600 x 300                       | 4,9                      | 66                     | 1                          | 323,4       |
| Arah y                               | 600 x 300                       | 4,4                      | 66                     | 2                          | 580,8       |
|                                      | 600 x 300                       | 2,4                      | 66                     | 0                          | 0           |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 904,2       |

$$\text{Berat balok anak} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok anak

$\sum$  : Jumlah balok anak

w : Berat profil baja

*Tabel 3.58 Berat Balok Anak arah x dan y Atap Lift*

| Balok                                | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                               | 400 x 150                       | 4,9                      | 36,7                   | 4                          | 719,32      |
| Arah y                               | 400 x 150                       | 4,4                      | 36,7                   | 13                         | 2099,24     |
| Total berat balok induk arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 2099,24     |

$$\text{Berat balok Cucu} = L \times \sum \text{balok} \times w$$

dimana, L : Panjang bentang balok link

$\sum$  : Jumlah balok link

w : Berat profil baja

*Tabel 3.59 Berat Balok cucu arah x dan y Atap Lift*

| Balok                               | Profil baja<br>Castellated (mm) | Panjang bentang<br>(L) m | Berat baja<br>(w) Kg/m | Jumlah balok<br>( $\sum$ ) | Berat<br>Kg |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|-------------|
| Arah x                              | 300 x 100                       | 2,4                      | 21,3                   | 24                         | 1226,88     |
|                                     | 300 x 100                       | 1,9                      | 21,3                   | 2                          | 80,94       |
| Total berat balok cucu arah x dan y |                                 |                          |                        |                            | 80,94       |

$$\text{Berat Kolom} = H \times \sum \text{kolom} \times w$$

dimana, H : Tinggi Kolom

$\sum$  : Jumlah Kolom

w : Berat profil baja

Dimensi Kolom : 0,8 m x 0,8 m

*Tabel 3.60 Berat Klorom Atap Lift*

| Kolom                                   | Elemen<br>(cm) | Tinggi, H<br>(m) | Jumlah, $\Sigma$<br>(buah) | Berat Profil<br>(kg/m) | Berat Kolom<br>(Kg) |
|---|----------------|------------------|----------------------------|------------------------|---------------------|
| Atas                                    | King Cross     | 1,50             | 1                          | 385                    | 577,50              |
| Bawah                                   | 60x30x12x20    | 2,00             | 1                          | 385                    | 770,00              |
| Atas                                    | Beton          | 1,50             | 1                          | 2687                   | 4030,50             |
| Bawah                                   | 80 x 80        | 2,00             | 1                          | 2687                   | 5374,00             |
| Total berat balok <i>Link</i> lantai 16 |                |                  |                            |                        | 9404,5              |

- Berat Dinding =  $t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$

dimana,  $t$  : tebal dinding (0,15 m)

$h$  : tinggi dinding (m)

$B_v$  : berat volum bata merah (1700 Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.61 Berat dinding arah x dan y Atap Lift*

| Dinding                       | Arah   | tebal, $t$<br>(m) | Tinggi, $h$<br>(m) | Bv. Bata<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-------------------|--------------------|----------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0,15              | 0,00               | 1700                             | 0              | 0             |
|                               | Arah y | 0,15              | 0,00               | 1700                             | 0              | 0             |
| Bawah                         | Arah x | 0,15              | 1,50               | 1700                             | 8,5            | 3251,25       |
|                               | Arah y | 0,15              | 1,50               | 1700                             | 8              | 3060          |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                   |                    |                                  |                | 6311,25       |

- Berat Dinding Partisi =  $t \times h \times B_v \text{ Bata merah} \times L$   
 dimana,  $t$  : tebal dinding ( 0,15 m)  
 $h$  : tinggi dinding (m)  
 $B_v$  : berat volum Partisi (1700 Kg/m<sup>3</sup>)  
 $L$  : Panjang bentang dinding

*Tabel 3.62 Berat Dinding partisi arah x dan y Atap Lift*

| Dinding                       | Arah   | tebal, t<br>(m) | Tinggi, h<br>(m) | Bv. Partisi<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Panjang<br>(m) | Berat<br>(Kg) |
|-------------------------------|--------|-----------------|------------------|-------------------------------------|----------------|---------------|
| Atas                          | Arah x | 0               | 1,50             | 17                                  | 0              | 0             |
|                               | Arah y | 0               | 1,50             | 17                                  | 0              | 0             |
| Bawah                         | Arah x | 0,012           | 1,50             | 17                                  | 0              | 0             |
|                               | Aray y | 0,012           | 1,50             | 17                                  | 0              | 0             |
| Total Berat dinding Tingkat 1 |        |                 |                  |                                     |                | 0             |

- Berat sambungan = 10 % x berat total baja yg digunakan  
 Berat total baja = Berat kolom +berat balok induk +berat balok anak  
 + berat balok cucu  
 = 577,50 + 904,2 + 2099,24  
 + 80,94  
 = 3661,88 Kg  
 Berat sambungan = 10 % x 3661,88  
 = 366,2 Kg

Dengan demikian, total berat beban mati untuk atap, yakni :

*Tabel 3.63 Total Berat Atap Lift*

| Keterangan      | Berat (w) dalam satuan kg |
|-----------------|---------------------------|
| Berat plat atap | 110220,00                 |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| Berat Plafon                    | 8266,50   |
| Berat balok induk               | 904,20    |
| Berat kolom                     | 9404,50   |
| Berat balok anak                | 2099,24   |
| Berat balok cucu                | 80,94     |
| Berat dinding                   | 6311,25   |
| Berat dinding Partisi           | 0,00      |
| Berat sambungan                 | 366,19    |
| Total berat ( $\sum w_{dead}$ ) | 137652,82 |

**b. Beban Hidup ( $W_{live}$ )**

Diketahui :

Koefisien reduksi : 0,3

- Beban plat lantai = Luasan x beban guna lantai x koef. Reduksi

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \text{Luas plat dalam} \\ &= 46,8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{beban plat lantai} &= 46,8 \times 100 \times 0,3 \\ &= 1402,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Beban air Hujan = Luasan x tebal genangan air x berat jenis air

$$\begin{aligned} &= 1402,5 \times 0,05 \times 1000 \\ &= 70125,0 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total beban hidup} &= 1402,5 + 70125,0 \\ &= 71527,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Maka total beban yang terjadi pada Atap Lift adalah :

$$\begin{aligned} \sum W &= W_{dead} + W_{live} \\ &= 137652,82 + 71527,5 \\ &= 209180,32 \text{ Kg} \end{aligned}$$

### 3.6 Perhitungan Beban Gempa


#### 3.6.1 Kategori Risiko Struktur Bangunan & Faktor Keutamaan

Kategori risiko struktur bangunan dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut :

*Tabel 3.64 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa*

| Jenis pemanfaatan   | Kategori risiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>   | I               |
| <p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>   | II              |
| <p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p> | III             |



| Jenis pemanfaatan  | Kategori risiko   |
|--|---|
| <p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | <br>IV |

Berdasarkan fungsi gedung Hotel Aria Centra Surabaya yakni : Hotel, maka gedung ini termasuk dalam kategori risiko **II**

Adapun faktor keutamaan gempa gedung ini ditentukan berdasarkan tabel berikut

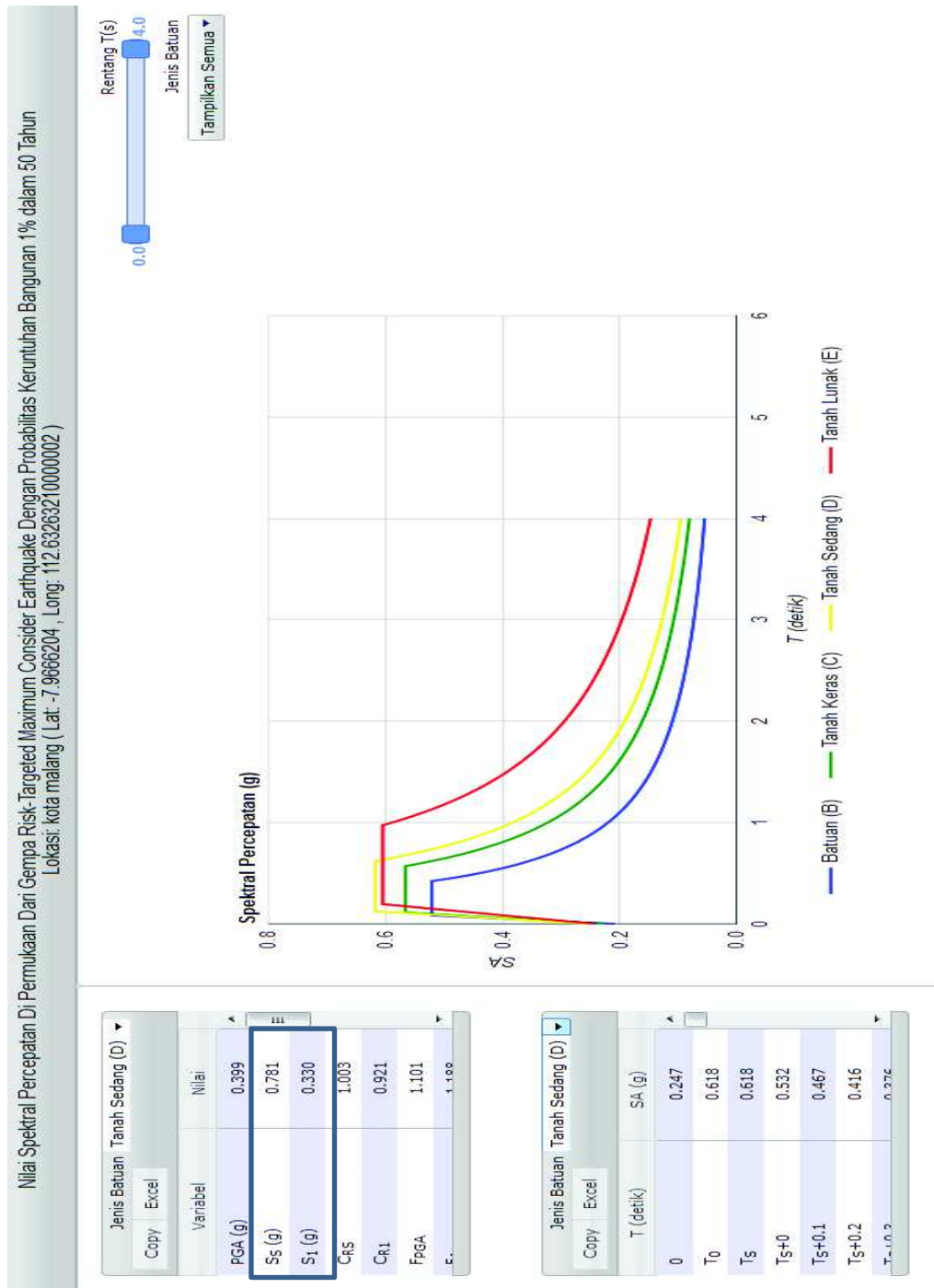
*Tabel 3.65 Faktor Keutamaan Gempa*

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1,0                           |
| III             | 1,25                          |
| IV              | 1,50                          |

Berdasarkan kategori risiko gedung ini yakni : II, maka faktor keutamaan gempa yakni : 1,0

### 3.6.2 Parameter Percepatan Gempa ( $S_s$ , $S_1$ )

Menentukan nilai parameter percepatan gempa dapat menggunakan bantuan [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id) untuk wilayah Kota Malang, sebagai berikut :



Gambar 3.1 Nilai Parameter Percepatan Gempa

Berdasarkan hasil penelurusan tersebut, dapat diketahui nilai parameter yakni :

$$S_s : 0,781 \text{ g}$$

$$S_1 : 0,330 \text{ g}$$

### 3.6.3 Kategori Desain Seismik (KDS)

- 1) Menentukan klasifikasi dan koefisien kelas situs

Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 3.66 Klasifikasi Kelas Situs Tanah

| Kelas Situs   | $\bar{V}_s$ (m/detik)   | $\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$ | $\bar{s}_u$ (kPa) |
|---|---|-------------------------------|-------------------|
| SA (batuan keras)   | > 1500  | N/A                           | N/A               |
| SB (batuan)   | 750 sampai 1500   | N/A                           | N/A               |
| SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)   | 350 sampai 750  | >50                           | $\geq 100$        |
| <b>SD (tanah sedang)</b>  | 175 sampai 350  | 15 sampai 50                  | 50 sampai 100     |
| SE (tanah lunak)  | < 175   | <15                           | < 50              |
|   | Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut :<br>1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ ,<br>2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ , dan<br>3. Kuat geser niralinir $\bar{s}_u < 25 kPa$  |                               |                   |
| <b>SF (tanah khusus, yang membutuhkan Investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)</b><br><br>Keterangan: N/A = tidak dapat dipakai | Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut:<br>- Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah,<br>- Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m),<br>- Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas, $PI > 75$ ),<br>- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa. |                               |                   |

Dengan mengetahui klasifikasi situs tanah yakni : Tanah Sedang , maka dapat ditentukan koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  sesuai tabel berikut :

Tabel 3.67 Koefisien Situs Fa

| Kelas Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ )<br>terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik ( $S_s$ ) |             |              |             |                 |
|-------------|--|-------------|--------------|-------------|-----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$  | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA          | 0,8  | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8             |
| SB          | 1,0  | 1,0         | 1,0          | 1,0         | 1,0             |
| SC          | 1,2  | 1,2         | 1,1          | 1,0         | 1,0             |
| SD          | 1,6  | 1,4         | 1,2          | 1,1         | 1,0             |
| SE          | 2,5  | 1,7         | 1,2          | 0,9         | 0,9             |
| SF          | $SS^b$   |             |              |             |                 |

Catatan :

(a) Untuk nilai nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linear)

(b)  $SS$  = Situs yg memerlukan inversigasi geoteknik spesifik & analisis respon situs spesifik

Untuk mendapatkan nilai koefisien Fa dilakukan interpolasi linear, sebagai brkt :

Dengan mengetahui nilai  $S_s$  : 0,781 dan berdasarkan tabel diatas maka diketahui nilai  $S_s$  berada diantara :

$$Fa_x = 1,2 \text{ untuk } S_{s_x} = 0,75$$

$$Fa_y = 1,4 \text{ untuk } S_{s_y} = 0,5 \quad \text{Sehingga dapat diinterpolasi sebagai berikut :}$$

$$Fa = Fa_x + \left[ \frac{S_s - S_{s_x}}{S_{s_y} - S_{s_x}} \right] \times (Fa_y - Fa_x)$$

$$Fa = 1,2 + \left[ \frac{0,781 - 0,750}{0,500 - 0,750} \right] \times (1,4 - 1,2) = 1,1752$$

Dengan demikian untuk  $S_s = 0,781$  diperoleh  $Fa = 1,1752$

Tabel 3.68 Koefisien Situs Fv

| Kelas Situs | Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa ( $MCE_R$ )<br>terpetakan pada perioda 1 detik ( $S_I$ ) |             |             |             |                |
|-------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
|             | $S_I \leq 0,1$   | $S_I = 0,2$ | $S_I = 0,3$ | $S_I = 0,4$ | $S_I \geq 0,5$ |
| SA          | 0,8  | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8            |
| SB          | 1,0  | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0            |
| SC          | 1,7  | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3            |
| SD          | 2,4  | 2,0         | 1,8         | 1,6         | 1,5            |
| SE          | 3,5  | 3,2         | 2,8         | 2,4         | 2,4            |
| SF          | $SS^b$   |             |             |             |                |

Catatan :

(a) Untuk nilai nilai antara Ss dapat dilakukan interpolasi linear)

(b) SS = Situs yg memerlukan inversigasi geoteknik spesifik & analisis respon situs spesifik

Untuk mendapatkan nilai koefisien Fa dilakukan interpolasi linear, sebagai brkt :

Dengan mengetahui nilai  $S_1$  : 0,33 dan berdasarkan tabel diatas maka diketahui

nilai  $S_1$  berada diantara :

$Fv_x = 1,8$  untuk  $Ss_x = 0,3$

$Fv_y = 2,0$  untuk  $Ss_y = 0,2$

Sehingga dapat diinterpolasi sebagai berikut :

$$Fv = Fv_x + \left[ \frac{S_1 - S_{1_x}}{S_{1_y} - S_{1_x}} \right] \times (Fv_y - Fv_x)$$

$$Fv = 1,8 + \left[ \frac{0,33 - 0,300}{0,200 - 0,300} \right] \times (2 - 1,8) = 1,74$$

Dengan demikian untuk  $S_1 = 0,33$  diperoleh  $Fv = 1,74$

## 2) Menentukan nilai $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

Dengan mengetahui klasifikasi dan koefisien kelas situs maka dapat ditentukan :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times Fa \times Ss \\ &= \frac{2}{3} \times 1,1752 \times 0,781 \\ &= 0,61189 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times Fv \times S_1 \\ &= \frac{2}{3} \times 1,74 \times 0,33 \\ &= 0,3828 \text{ g} \end{aligned}$$

Selanjutnya menentukan kategori desain seismik berdasarkan tabel dibawah ini :

*Tabel 3.69 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda pendek*

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$  | C                  | D  |
| $0,50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

Diketahui nilai  $S_{DS} = 0,61189 \text{ g} > 0,5$  Untuk Kategori Risiko : II maka termasuk kategori desain seismik **D**

*Tabel 3.70 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik*

| Nilai $S_{D1}$              | Kategori risiko    |    |
|-----------------------------|--------------------|----|
|                             | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$            | A                  | A  |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B                  | C  |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$  | C                  | D  |
| $0,20 \leq S_{D1}$          | D                  | D  |

Diketahui nilai  $S_{D1} = 0,3828 \text{ g} > 0,2$  Untuk Kategori Risiko : II maka termasuk kategori desain seismik **D**

#### 3.6.4 Spectrum Respons Design

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} & T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 T_0 &= 0,2 \times \frac{0,3828}{0,61189} & T_s &= \frac{0,3828}{0,61189} \\
 &= 0,12512 \text{ detik} & &= 0,62561 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk } T = 0, \text{ maka : } S_a &= S_{DS} \times 0,4 \\
 &= 0,61189 \times 0,4 \\
 &= 0,24475 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk } T < T_0, \text{ maka : } S_a &= S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \\
 S_a &= 0,61 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0,01}{0,12512} \right) \\
 &= 0,2741 \text{ detik , selanjutnya ditabelkan yakni :}
 \end{aligned}$$

*Tabel 3.71 Nilai Sa untuk  $T < T_0$*

| T    | Sa        | T    | Sa        |
|------|-----------|------|-----------|
| 0,01 | 0,2740972 | 0,06 | 0,4208081 |
| 0,02 | 0,3034394 | 0,07 | 0,4501503 |
| 0,03 | 0,3327815 | 0,08 | 0,4794925 |
| 0,04 | 0,3621237 | 0,09 | 0,5088346 |
| 0,05 | 0,3914659 | 0,1  | 0,5381768 |

$$\text{Untuk } t = T_0 \text{ s/d } t = T_s \text{ maka } S_a = S_{DS} = 0,61189 \text{ detik}$$

Untuk  $T_s < T < 1.0$ , maka :

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{SD1}{T}, \text{ misalkan } T = 0,57 \\
 &= \frac{0,3828}{0,57} = 0,67158 \text{ detik, selanjutnya ditampilkan dlm tabel dibawah :}
 \end{aligned}$$

*Tabel 3.72 Nilai Sa untuk  $T_s < T < 1.0$*

| T   | Sa      | T    | Sa      | T    | Sa      | T    | Sa      | T    | Sa      |
|-----|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0,6 | 0,60762 | 0,7  | 0,54686 | 0,77 | 0,49714 | 0,84 | 0,45571 | 0,91 | 0,42066 |
| 0,6 | 0,59813 | 0,71 | 0,53915 | 0,78 | 0,49077 | 0,85 | 0,45035 | 0,92 | 0,41609 |
| 0,7 | 0,58892 | 0,72 | 0,53167 | 0,79 | 0,48456 | 0,86 | 0,44512 | 0,93 | 0,41161 |
| 0,7 | 0,58    | 0,73 | 0,52438 | 0,8  | 0,4785  | 0,87 | 0,44    | 0,94 | 0,40723 |

|     |         |      |         |      |         |      |         |      |         |
|-----|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| 0,7 | 0,57134 | 0,74 | 0,5173  | 0,81 | 0,47259 | 0,88 | 0,435   | 0,95 | 0,40295 |
| 0,7 | 0,56294 | 0,75 | 0,5104  | 0,82 | 0,46683 | 0,89 | 0,43011 | 0,96 | 0,39875 |
| 0,7 | 0,55478 | 0,76 | 0,50368 | 0,83 | 0,4612  | 0,9  | 0,42533 | 0,97 | 0,39464 |

Untuk  $T = 1,0$  maka :

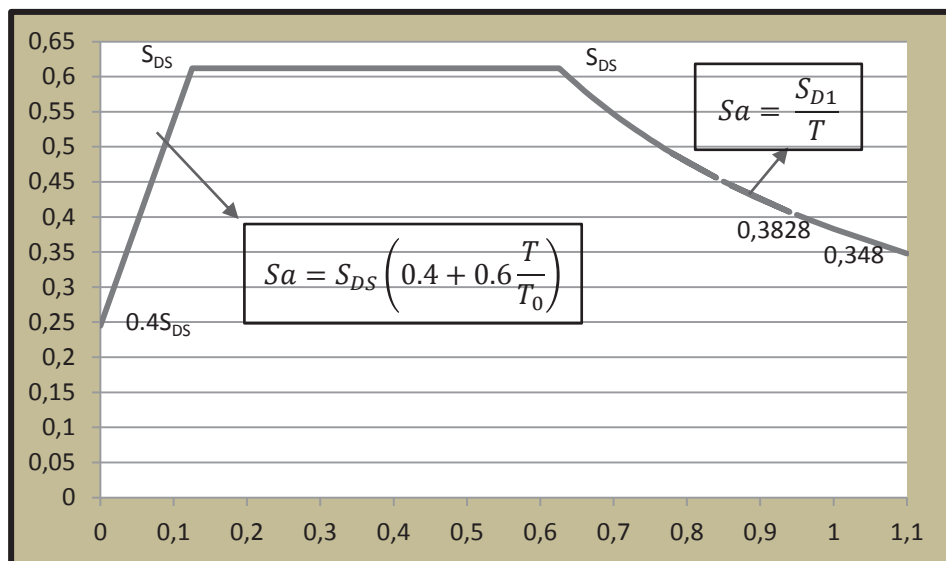
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$S_a = \frac{0,3828}{1,0}$$

$$= 0,3828 \text{ detik}$$

Dengan demikian, diperoleh grafik respon spektrum sebagai berikut :

*Grafik 3.1 Desain Respon Spektrum*



### 3.6.5 Batasan Perioda Fundamental Struktur

Struktur pada gedung ini memiliki ketinggian mencapai 17 lantai + atap yakni lebih besar dari 12 tingkat. Sehingga perioda fundamental ( $T_a$ ) ditentukan sebagai berikut :



$$T_a = C_t h_n^x \quad \text{Dimana :}$$

$h_n$  = ketinggian struktur (dari dasar hingga tingkat tertinggi struktur)

$$= 64,5 \text{ m}$$

$C_t$  = diperoleh dari tabel 4.11

$x$  = diperoleh dari tabel 4.11

*Tabel 3.73 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yg Dihitung*

| Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik ( $S_{D1}$ ) | Koefisien $C_u$ |
|--|-----------------|
| $\geq 0,4$   | 1,4             |
| 0,3  | 1,4             |
| 0,2  | 1,5             |
| 0,15   | 1,6             |
| $\leq 0,1$   | 1,7             |

Diketahui  $S_{D1} = 0,3828 \text{ g}$  maka koefisien  $C_u = 1,4$

*Tabel 3.74 Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yg Dihitung*

| Tipe Struktur   | $C_t$               | $x$  |
|---|---------------------|------|
| Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa: |                     |      |
| Rangka Baja pemikul momen   | 0,0724 <sup>a</sup> | 0,8  |
| Rangka beton pemikul momen  | 0,0466 <sup>a</sup> | 0,9  |
| Rangka baja bresing eksentris   | 0,0731 <sup>a</sup> | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk   | 0,0731 <sup>a</sup> | 0,75 |
| Semua system struktur lainnya   | 0,0488 <sup>a</sup> | 0,75 |

Dengan demikian diperoleh :  $C_t = 0,0724$  &  $x = 0,75$

• Arah  $x$

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0724 \times 64,5^{0,75} \end{aligned}$$

• Arah  $y$

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0724 \times 64,5^{0,75} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,64781 \text{ detik} \\
 T_{\max} &= C_u \cdot T_a \\
 &= 1,4 \times 1,64781 \\
 &= 2,30694 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$T_a < T_{\max} \quad \text{..... OK}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,64781 \text{ detik} \\
 T_{\max} &= C_u \cdot T_a \\
 &= 1,4 \times 1,64781 \\
 &= 2,30694 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$T_a < T_{\max} \quad \text{..... OK}$$

### 3.6.6 Pemilihan Parameter Sistem Struktur ( $R$ , $C_d$ dan $\Omega_0$ )

Tabel 3.75 (Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya gempa

| Sistem penahan-gaya seismik  | Koefisien modifikasi respons, $R^a$ | Faktor kuat-lebih sistem, $g_0$ | Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup> |    |                |                |                |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---|----|----------------|----------------|----------------|
|  |                                     |                                 |                                     | Kategori desain seismik   |    |                |                |                |
|  |                                     |                                 |                                     | B   | C  | D <sup>d</sup> | E <sup>d</sup> | F <sup>e</sup> |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa                      | 3                                   | 3                               | 2½                                  | TB  | TI | TI             | TI             | TI             |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus             | 8                                   | 3                               | 5½                                  | TB  | TB | TB             | TB             | TB             |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah           | 5                                   | 3                               | 4½                                  | TB  | TB | TI             | TI             | TI             |
| 10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen | 6                                   | 3                               | 5½                                  | 48  | 48 | 30             | TI             | TI             |
| 11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa             | 3                                   | 3                               | 2½                                  | TB  | TI | TI             | TI             | TI             |

Dari Tabel diatas maka di dapat nilai Faktor  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  untuk sistem penahan gaya dengan menggunakan Sistem rangka baja bresing eksentris adalah sebagai berikut :

$$R = 5,00$$

$$C_d = 3,00$$

$$\Omega_0 = 4,50$$

### 3.6.7 Perhitungan Nilai Base Shear

Perhitungan Geser Dasar Seismik, sebagai berikut :

$$V = C_s \times W$$

Dimana :

W = Berat seismik efektif

Cs = Koefisien respons seismik, perhitungan nilai Cs yakni :

$$= \frac{S_{DS}}{(R/I_e)} = \frac{0,611887467}{(5 / 1)} = 0,1223775$$

Dengan syarat :

- Nilai Cs tidak perlu melebihi berikut ini  $= \frac{S_{D1}}{T \times (R/I_e)}$

$$C_{S \max} = \frac{0,382800}{1,65 \times (5 / 1)} = 0,0464615$$

- Tidak kurang dari :  $C_S = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$

$$\begin{aligned} C_{S \min} &= 0,044 S_{DS} I_e \\ &= 0,044 \times 0,61189 \times 1 \\ &= 0,0224359 \end{aligned}$$

$$C_{S \min} \geq 0,01$$

Digunakan  $C_{S \min} = 0,0224359$

- Untuk  $S_1 \geq 0,6$  g, nilai  $C_S$  harus tidak kurang dari :

$$C_{S \min} = \frac{0,5 \times S_1}{(R/I_e)}$$

Karena nilai  $S_1 = 0,33 < 0,6$  maka rumusan ini tidak digunakan.

Sehingga,

$$C_{S \min} = 0,02244 < C_{S \max} = 0,04646 < C_S = 0,12238$$

Maka digunakan  $C_{S_x} = 0,0464615$

Maka digunakan  $C_{S_y} = 0,0464615$

Sehingga nilai  $V_x$  dan  $V_y$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
V_x &= C_{s_x} \cdot W \\
&= 0,04646 \times 11196837,87 \\
&= 520222,30 \text{ Kg} \\
V_x &= C_{s_y} \cdot W \\
&= 0,04646 \times 11196837,87 \\
&= 520222,30 \text{ Kg}
\end{aligned}$$

### 3.6.8 Perhitungan Gaya Gempa Lateral (F)

Gaya gempa lateral dihitung dengan rumus :

$$F = C_v \cdot V$$

$$C_v = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Dimana :

$C_v$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral design total atau geser di dasar struktur

$w_i$  &  $w_x$  = Bagian berat seismik sfektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  &  $h_x$  = Tinggi (m) dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$

$K$  =  $\frac{E}{k_s}$

- Untuk struktur yang mempunyai dengan perioda sebesar 0,5 detik atau kurang ,  $K = 1$
- Untuk struktur yang mempunyai dengan perioda sebesar 2,5 detik atau lebih ,  $K = 2$
- Untuk struktur yang mempunyai dengan perioda sebesar 0,5 dan 2,5 detik k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2

Dengan  $T_a = 1,6478146$  detik, dan

$K_1 = 1,0$  untuk  $T_{a1} = 0,5$  diinterpolasi sebagai berikut :

$K_2 = 2,0$  untuk  $T_{a2} = 2,5$

$$K = K_1 + \frac{[Ta - Ta_1]}{[Ta_2 - Ta_1]} \times [K_1 - K_2]$$

$$K = 1 + \frac{[1,64781 - 0,500]}{[2,500 - 0,500]} \times [2 - 1]$$

$$= 1,5739073$$

Maka digunakan  $K_x = 1,5739073$

Maka digunakan  $K_y = 1,5739073$

*Tabel 3.76 (Faktor Distribusi Vertikal)*

| Lantai       | Berat (Wi) | Tinggi (hi) | hi <sup>Kx</sup> | hi <sup>Ky</sup> | Wi x hi <sup>Kx</sup> | Wi x hi <sup>Ky</sup> |
|--------------|------------|-------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|
|              | Kg         | m           | m                | m                | kgm                   | kgm                   |
| Atap Lift    | 209180,318 | 36,0        | 281,498          | 281,498          | 58883918,5            | 58883918,5            |
| Atap         | 409528,702 | 33,0        | 245,471          | 245,471          | 100527420             | 100527420             |
| Tingkat 7    | 648581,69  | 29,0        | 200,299          | 200,299          | 129910300             | 129910300             |
| Tingkat 6    | 648591,89  | 25,0        | 158,573          | 158,573          | 102848867             | 102848867             |
| Tingkat 5    | 648585,974 | 21,0        | 120,518          | 120,518          | 78166050,2            | 78166050,2            |
| Tingkat 4    | 648588,626 | 17,0        | 86,4197          | 86,4197          | 56050808,5            | 56050808,5            |
| Tingkat 3    | 648618,41  | 13,0        | 56,6557          | 56,6557          | 36747928              | 36747928              |
| Tingkat 2    | 649692,878 | 9,0         | 31,7606          | 31,7606          | 20634662,4            | 20634662,4            |
| Tingkat 1    | 705725,703 | 5,0         | 12,5926          | 12,5926          | 8886892,67            | 8886892,67            |
| <b>TOTAL</b> | 5217094,19 |             |                  |                  | 592656847             | 592656847             |

| Lantai    | Cv <sub>x</sub> | Cv <sub>y</sub> | Vx<br>(Kg) | Vy<br>(Kg) | Fx<br>(Kg) | Fy<br>(Kg) |
|-----------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|
| Atap Lift | 0,0993558       | 0,0993558       | 520222     | 520222     | 51687,123  | 51687,123  |
| Atap      | 0,1696216       | 0,1696216       | 520222     | 520222     | 88240,954  | 88240,954  |
| Tingkat 7 | 0,2191999       | 0,2191999       | 520222     | 520222     | 114032,66  | 114032,66  |

|              |           |           |        |        |           |           |
|--------------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|
| Tingkat 6    | 0,1735386 | 0,1735386 | 520222 | 520222 | 90278,674 | 90278,674 |
| Tingkat 5    | 0,1318909 | 0,1318909 | 520222 | 520222 | 68612,591 | 68612,591 |
| Tingkat 4    | 0,0945755 | 0,0945755 | 520222 | 520222 | 49200,276 | 49200,276 |
| Tingkat 3    | 0,0620054 | 0,0620054 | 520222 | 520222 | 32256,594 | 32256,594 |
| Tingkat 2    | 0,0348172 | 0,0348172 | 520222 | 520222 | 18112,693 | 18112,693 |
| Tingkat 1    | 0,014995  | 0,014995  | 520222 | 520222 | 7800,7362 | 7800,7362 |
| <b>TOTAL</b> |           |           |        |        | 520222,3  | 520222,3  |

### ***Pengaruh Gaya Gempa Vertikal***

Pengaruh beban gempa vertikal,  $E_v$

$$E_v = 0,2 S_{DS} D$$

$$\rho = 1,3 \quad S_{DS} = 0,612 \text{ g}$$

$$E_v = 0,2 \times 0,612 \text{ g} \times D$$

$$= 0,12238 D$$

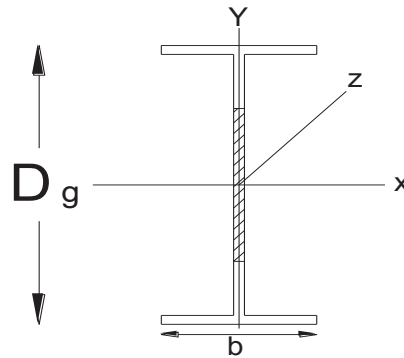
### **Kombinasi pembebanan**

- 1) 1,4 D
- 2) 1,2 D + 1,6 L
- 3) 1,2 D + 1 L + 0,3 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] +  
1 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]  
1,36 D + 1 L + 0,39 Q<sub>ex</sub> + 1,3 Q<sub>ey</sub>
- 4) 1,2 D + 1 L - 0,3 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] +  
1 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]  
1,04 D + 1 L - 0,39 Q<sub>ex</sub> + 1,3 Q<sub>ey</sub>
- 5) 1,2 D + 1 L + 0,3 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] -  
1 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]  
1,11 D + 1 L + 0,39 Q<sub>ex</sub> - 1,3 Q<sub>ey</sub>
- 6) 1,2 D + 1 L - 0,3 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] -  
1 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]  
1,29 D + 1 L - 0,39 Q<sub>ex</sub> - 1,3 Q<sub>ey</sub>
- 7) 1,2 D + 1 L + 1 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] D +  
0,3 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]  
1,36 D + 1 L + 1,3 Q<sub>ex</sub> + 0,39 Q<sub>ey</sub>
- 8) 1,2 D + 1 L - 1 [  $\rho$  Q<sub>ex</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ] D +  
0,3 [  $\rho$  Q<sub>ey</sub> + 0,2 S<sub>DS</sub> D ]

- 1,04 D + 1 L - 1,3 Qex + 0,39 Qey
- 9) 1,2 D + 1 L + 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D]
- 1,29 D + 1 L + 1,3 Qex - 0,39 Qey
- 10) 1,2 D + 1 L - 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D]
- 1,11 D + 1 L - 1,3 Qex - 0,39 Qey
- 11) 0,9 D + 0,3 [ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] + 1[ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 1,06 D + 0,39 Qex + 1,3 Qey
- 12) 0,9 D + 0,3 [ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] + 1[ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,74 D + 0,39 Qex + 1,3 Qey
- 13) 0,9 D + 0,3 [ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 1[ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,81 D + 0,39 Qex - 1,3 Qey
- 14) 0,9 D + 0,3 [ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 1[ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,99 D + 0,39 Qex - 1,3 Qey
- 15) 0,9 D + 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub>] D + 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 1,06 D + 1,3 Qex + 0,39 Qey
- 16) 0,9 D + 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub>] D + 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,74 D + 1,3 Qex + 0,39 Qey
- 17) 0,9 D + 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,99 D + 1,3 Qex - 0,39 Qey
- 18) 0,9 D + 1[ $\rho$  Qex + 0,2 S<sub>DS</sub> D] - 0,3 [ $\rho$  Qey + 0,2 S<sub>DS</sub> D] 0,81 D + 1,3 Qex - 0,39 Qey

### 3.7 Pendimensian Balok Castella

#### 3.7.1 Pendimensian Balok Induk



Balok dengan  $L = 600 \text{ cm} = 6 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 \text{Perencanaan tinggi balok (h)} &= \frac{1}{10} L - \frac{1}{15} L \\
 &= \frac{1}{10} 600 - \frac{1}{15} 600 \\
 &= 60 \text{ cm} - 40 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tinggi total balok ( $d_g$ ) = 60 cm

Maka digunakan profil Castel 600 . 200

Dari tabel baja diperoleh :

|                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| $d$ : 600,0 mm      | $w$ : 66,00 Kg/m                |
| $b_f$ : 200,0 mm    | $I_x$ : 55683,6 cm <sup>4</sup> |
| $t_w$ : 8,0 mm      | $I_y$ : 1740,0 cm <sup>4</sup>  |
| $t_f$ : 13,0 mm     | $i_x$ : 29,00 cm                |
| $r$ : 16,0 mm       | $i_y$ : 5,10 cm                 |
| $D_s$ : 405,0 mm    | $Z_x$ : 1856,10 cm <sup>3</sup> |
| $D_{tee}$ : 97,5 mm | $Z_y$ : 174,00 cm <sup>3</sup>  |



$$A_g \text{ maks} : 100,1 \text{ Cm}^2 \quad A_g \text{ min} : 67,7 \text{ Cm}^2$$

Pemeriksaan Pengaruh tekuk lokal (kelangsingan penampang)

$$\text{- Pelat badan} = \lambda_w = \frac{h - 2(tf + r)}{tw} \leq \lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

$$\lambda_w = \frac{600 - 2(13 + 16)}{8} \leq$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pw}$$

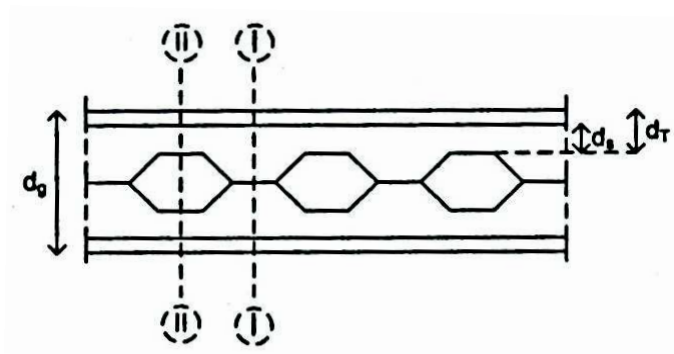
$$67,750 \leq 108,444 \text{ Maka, Penampang Kompak}$$

$$\text{- Pelat sayap} = \lambda_f = \frac{b}{2tf} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\lambda_f = \frac{200}{2 \times 13} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pf}$$

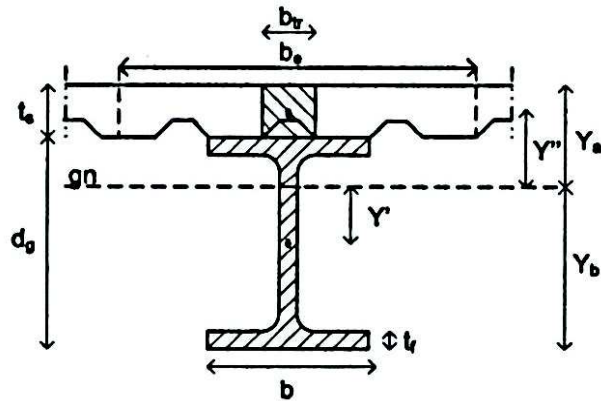
$$7,692 \leq 10,9735 \text{ Maka, Penampang Kompak}$$



Gambar 3.2 Penampang Balok Castella

## A. Potongan I - I

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f_c &= 30 \text{ Mpa} & f_y &= 240 \text{ Mpa} \\
 E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\
 &= 210000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned}
 b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 600 &= 150 \text{ cm} \\
 &\leq b_o &= 780 \\
 &\leq b + 16 t_s &= 20 + 16 \times 12 &= 212 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

(SNI 1729 2002 pasal 12.4.3 )

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 150 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi

baja)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\
 &= 4700 \sqrt{30}
 \end{aligned}$$

$$= 25742,960 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16$$

$$\text{Lebar penampang beton} = \frac{b_e}{n} = \frac{150}{8,158} = 18,388 \text{ cm}$$

$$\text{Komposit (b}_{tr}\text{)} = b_{tr} \times t_s$$

$$= 18,39 \times 12 = 220,654 \text{ cm}^2$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen    | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat     | 220,654                               | 6,000                                      | 1323,924              | 2647,847                          |
| WF600.200 | 100,12                                | 42,000                                     | 4205,04               | 55683,6                           |
| Σ         | 320,774                               |  | 5528,964              | 58331,447                         |

$$y_a = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{5528,96}{320,774} = 17,236 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 60 + 12 - 17,236 \\ &= 54,764 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 17,236 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 11,23632 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 42 - 17,236 = 24,764 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{trz} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + \\ &= 2647,847 + \left[ 220,654 \cdot 11,23632^2 \right] + 55684 + \\ &\quad \left[ 100,120 \cdot 24,764^2 \right] \end{aligned}$$

$$= 147587,6597 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{trx} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + \left( (d_g - 2t_f) \cdot t_w^3 \right) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\ &= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 20 \cdot 1,3^3) + \left( (60 - 2 \cdot 0,8) \cdot 0,8^3 \right) + \\ &\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{18,388} \right) \right) 18,388 \cdot 12^3 \right] \\ &= 13018,13253 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{try} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot (d_g - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3 \right) \\ &= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 18,388^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 1,3 \cdot 20^3 \right) + \\ &\quad \left[ \frac{1}{12} \cdot (60 - 2 \cdot 1,3) \cdot 0,8^3 \right] \\ &= 7952,932446 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$A_x = A_{profil} + A_{plat}$$

$$= 320,774 \text{ cm}^2$$

$$A_z = (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 2 \cdot 20 \cdot 1,3 \right] + \left[ 18,388 \cdot 12 \right]$$

$$= 272,654 \text{ cm}^2$$

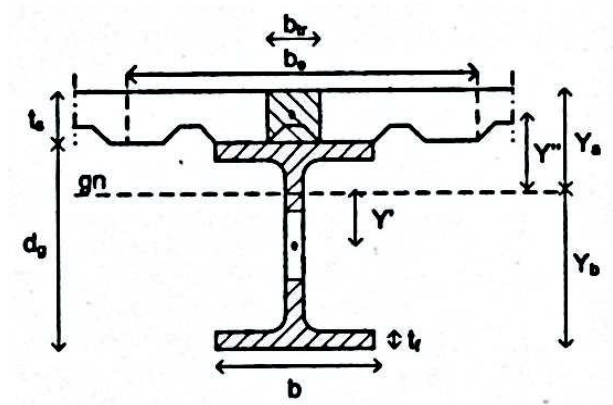
$$A_z = (d_g \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 60 \cdot 0,8 \right] + \left[ 18,388 \cdot 12 \right]$$

$$= 268,654 \text{ cm}^2$$

## B. Potongan II - II

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f_c &= 8 \text{ Mpa} & f_y &= 20 \text{ Mpa} \\
 E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\
 &= 210000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned}
 b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 600 &= 150 \text{ cm} \\
 &\leq b_o &= 780 \\
 &\leq b + 16 t_s &= 20 + 16 \times 12 &= 212 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 150 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi

baja)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\
 &= 4700 \sqrt{30}
 \end{aligned}$$

$$= 25742,960 \text{ Mpa}$$

$$\text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16$$

$$\text{Lebar penampang beton} = \frac{b_e}{n} = \frac{1500}{8,158} = 183,878 \text{ cm}$$

$$\text{Komposit (b}_{tr}\text{)} = b_{tr} \times t_s$$

$$= 183,88 \times 12 = 2206,54 \text{ cm}^2$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen    | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat     | 2206,539                              | 6,000                                      | 13239,24              | 26478,473                         |
| WF600.200 | 67,68                                 | 42,000                                     | 2842,56               | 55683,6                           |
| Σ         | 2274,219                              |  | 16081,8               | 82162,073                         |

$$y_a = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{16081,80}{2274,219} = 7,071 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 60 + 12 - 7,071 \\ &= 64,929 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 7,071 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 1,071348 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 42 - 7,071 = 34,929 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{trz} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ &= 26478,473 + \left[ 2206,539 \cdot 1,071348^2 \right] + 55684 + \\ &\quad \left[ 67,680 \cdot 34,929^2 \right] \end{aligned}$$

$$= 167265,0359 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{trx} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + ((2d_s) \cdot t_w^3) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\ &= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 20 \cdot 1,3^3) + ((2 \cdot 8,5) \cdot 0,8^3) + \\ &\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{183,878} \right) \right) 18,388 \cdot 12^3 \right] \\ &= 1282,068533 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{try} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot d_s \cdot t_w^3 \right) \\ &= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 18,388^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 1,3 \cdot 20^3 \right) + \\ &\quad \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 8,5 \cdot 0,8^3 \right) \\ &= 7951,204446 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_x &= A_{profil} + A_{plat} \\ &= 2274,219 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

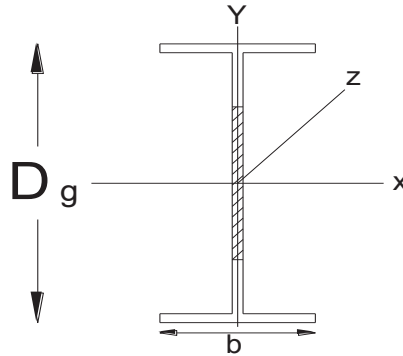
$$\begin{aligned} A_z &= (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s) \\ &= \left[ 2 \cdot 20 \cdot 1,3 \right] + \left[ 18,388 \cdot 12 \right] \\ &= 272,654 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_y &= (d_g \cdot t_w) - (2 \cdot h' \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s) \\ &= \left[ 60 \cdot 0,8 \right] - \left[ 2 \cdot 40,5 \cdot 0,8 \right] + \left[ 18,388 \cdot 12 \right] \\ &= 203,854 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan Hasil perhitungan profil baja castella komposit, yaitu pada potongan I-I dan potongan II-II maka nilai  $A_x$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ , dibandingkan dan dipilih profil yang mempunyai nilai-nilai yang minimum (kritis) untuk digunakan sebagai tinjauan desain dan digunakan pada analisa struktur (statika) komposit. Maka digunakan profil castella komposit pada potongan II-II dengan spesifikasi :

$$\begin{array}{ll} A_x = 2274,219 \text{ cm}^2 & I_x = 1282,068533 \text{ cm}^4 \\ A_y = 203,854 \text{ cm}^2 & I_y = 7951,204446 \text{ cm}^4 \\ A_z = 272,654 \text{ cm}^2 & I_z = 167265,0359 \text{ cm}^4 \end{array}$$

### 3.7.2 Pendimensian Balok Anak



Balok dengan  $L = 500 \text{ cm} = 5 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Perencanaan tinggi balok (h)} &= \frac{1}{10} L - \frac{1}{15} L \\ &= \frac{1}{10} 500 - \frac{1}{15} 500 \\ &= 50 \text{ cm} - 33,33 \text{ cm} \end{aligned}$$

Direncanakan tinggi total balok ( $d_g$ ) = 45 cm

Maka digunakan profil Caste 450 . 150

Dari tabel baja diperoleh :

$d$  : 450,0 mm       $w$  : 36,70 Kg/m

$b_f$  : 150,0 mm       $I_x$  : 16895,1 cm<sup>4</sup>

$t_w$  : 6,5 mm       $I_y$  : 508,0 cm<sup>4</sup>

$t_f$  : 9,0 mm       $i_x$  : 22,00 cm

$r$  : 13,0 mm       $i_y$  : 3,70 cm

$D_s$  : 305,0 mm       $Z_x$  : 750,90 cm<sup>3</sup>

$D_{tee}$  : 72,5 mm       $Z_y$  : 67,70 cm<sup>3</sup>

$A_g \text{ maks}$  : 56,5 Cm<sup>2</sup>       $A_g \text{ min}$  : 36,7 Cm<sup>2</sup>



Pemeriksaan Pengaruh tekuk lokal (kelangsingan penampang)

$$\begin{aligned} \text{- Pelat badan} \quad \lambda_w &= \frac{h - 2(tf + r)}{t_w} \leq \lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ \lambda_w &= \frac{450 - 2(9 + 13)}{6,5} \leq \end{aligned}$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

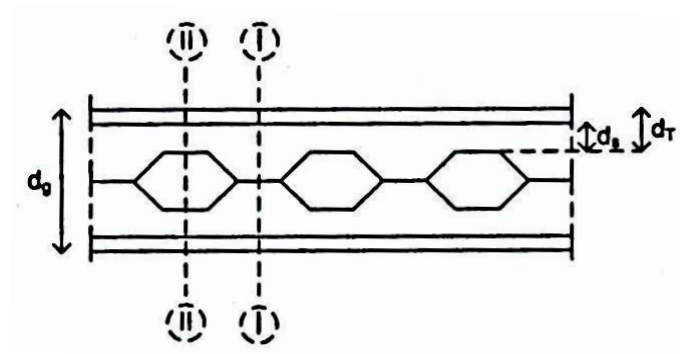
$$\lambda_w \leq \lambda_{pw}$$

$$62,462 \leq 108,444 \quad \text{Maka, Penampang Kompak}$$

$$\begin{aligned} \text{- Pelat sayap} \quad \lambda_f &= \frac{b}{2tf} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} \\ \lambda_f &= \frac{150}{2 \times 9} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{240}} \end{aligned}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pf}$$

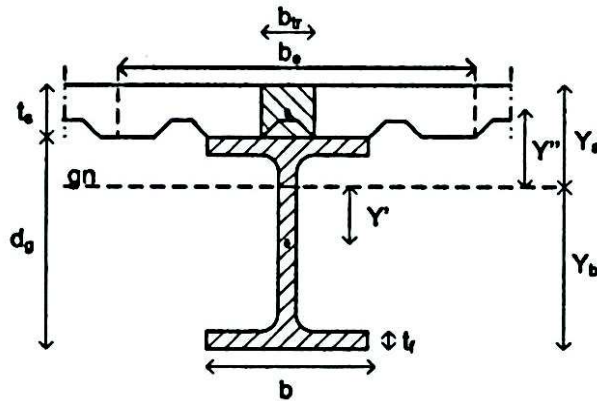
$$8,333 \leq 10,9735 \quad \text{Maka, Penampang Kompak}$$



Gambar 3.3 Penampang Balok Castella

## A. Potongan I - I

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned} f_c &= 30 \text{ Mpa} & f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\ &= 210000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned} b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 500 &= 125 \text{ cm} \\ &\leq b_o &= 780 \\ &\leq b + 16 t_s &= 15 + 16 \times 12 &= 207 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 125 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16 \\
 \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{125}{8,158} = 15,323 \text{ cm} \\
 \text{Komposit (b}_{tr}\text{)} &= b_{tr} \times t_s \\
 \text{Luas Penampang beton komposit} &= b_{tr} \times t_s \\
 \text{( A}_{tr}\text{)} &= 15,32 \times 12 = 183,878 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen   | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat    | 183,878                               | 6,000                                      | 1103,2697             | 2206,539                          |
| WF400.15 | 56,53                                 | 34,500                                     | 1950,285              | 16895,1                           |
| Σ        | 240,408                               |  | 3053,5547             | 19101,639                         |

$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{3053,55}{240,408} = 12,702 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 y_b &= d_g + t_s - y_a \\
 &= 45 + 12 - 12,702 \\
 &= 44,298 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\
 &= 12,702 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\
 &= 6,701537 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 35 - 12,702 = 21,798 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + \\
 &= 2206,539 + \left[ 183,878 \cdot 6,701537^2 \right] + 16895 + \\
 &\quad \left[ 56,530 \cdot 21,798^2 \right] \\
 &= 54221,25239 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{tr} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + \left( (d_g - 2t_f) \cdot t_w^3 \right) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\
&= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 15 \cdot 0,9^3) + \left( (45 - 2 \cdot 0,7) \cdot 0,8^3 \right) + \\
&\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{15,323} \right) \right) 15,323 \cdot 12^3 \right] \\
&= 13036,6606 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{tr} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot (d_g - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3 \right) \\
&= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 15,323^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,9 \cdot 15^3 \right) + \\
&\quad \left[ \frac{1}{12} \cdot (45 - 2 \cdot 0,9) \cdot 0,8^3 \right] \\
&= 4105,980958 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$A_x = A_{\text{profil}} + A_{\text{plat}}$$

$$= 240,408 \text{ cm}^2$$

$$A_z = (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 2 \cdot 15 \cdot 0,9 \right] + \left[ 15,323 \cdot 12 \right]$$

$$= 210,878 \text{ cm}^2$$

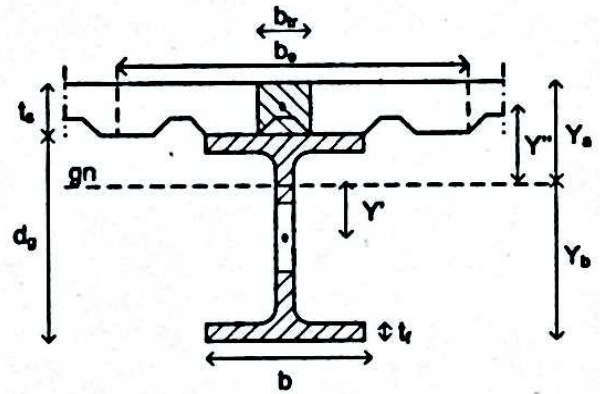
$$A_z = (d_g \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 45 \cdot 0,8 \right] + \left[ 15,323 \cdot 12 \right]$$

$$= 219,878 \text{ cm}^2$$

## B. Potongan II - II

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f_c &= 8 \text{ Mpa} & f_y &= 20 \text{ Mpa} \\
 E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\
 &= 210000 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned}
 b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 500 &= 125 \text{ cm} \\
 &\leq b_o &= 780 \\
 &\leq b + 16 t_s &= 15 + 16 \times 12 &= 207 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 125 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,960 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16 \\
 \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{1250}{8,158} = 153,232 \text{ cm} \\
 \text{Komposit (b}_{tr}\text{)} &= b_{tr} \times t_s \\
 \text{Luas Penampang beton komposit} &= b_{tr} \times t_s \\
 \text{(A}_{tr}\text{)} &= 153,23 \times 12 = 1838,78 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen   | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat    | 1838,783                              | 6,000                                      | 11032,697             | 22065,394                         |
| WF400.15 | 36,67                                 | 34,500                                     | 1265,115              | 16895,1                           |
| Σ        | 1875,453                              |  | 12297,812             | 38960,494                         |

$$y_a = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{12297,81}{1875,453} = 6,557 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 y_b &= d_g + t_s - y_a \\
 &= 45 + 12 - 6,557 \\
 &= 50,443 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\
 &= 6,557 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\
 &= 0,557249 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 35 - 6,557 = 27,943 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{tr} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\
 &= 22065,39 + \left[ 1838,783 \cdot 0,557249^2 \right] + 16895 + \\
 &\quad \left[ 36,670 \cdot 27,943^2 \right] \\
 &= 68163,32339 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{tr} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + ((2d_s) \cdot t_w^3) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\
&= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 15 \cdot 0,9^3) + ((2 \cdot 6,4) \cdot 0,8^3) + \\
&\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{153,232} \right) \right) 15,323 \cdot 12^3 \right] \\
&= 1295,2206 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{tr} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot d_s \cdot t_w^3 \right) \\
&= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 15,323^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,9 \cdot 15^3 \right) + \\
&\quad \left[ 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 6,4 \cdot 0,8^3 \right] \\
&= 4104,679625 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_x &= A_{profil} + A_{plat} \\
&= 1875,453 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

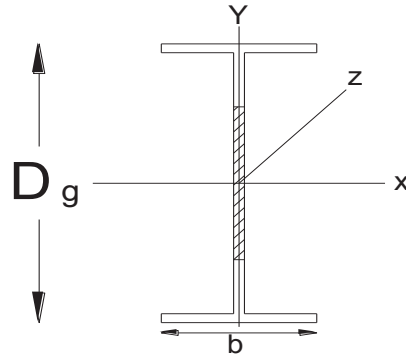
$$\begin{aligned}
A_z &= (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s) \\
&= \left[ 2 \cdot 15 \cdot 0,9 \right] + \left[ 15,323 \cdot 12 \right] \\
&= 210,878 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_y &= (d_g \cdot t_w) - (2 \cdot h' \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s) \\
&= \left[ 45 \cdot 0,8 \right] - \left[ 2 \cdot 30,5 \cdot 0,8 \right] + \left[ 15,323 \cdot 12 \right] \\
&= 171,078 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Berdasarkan Hasil perhitungan profil baja castella komposit, yaitu pada potongan I-I dan potongan II-II maka nilai  $A_x$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ , dibandingkan dan dipilih profil yang mempunyai nilai-nilai yang minimum (kritis) untuk digunakan sebagai tinjauan desain dan digunakan pada analisa struktur (statika) komposit. Maka digunakan profil castella komposit pada potongan II-II dengan spesifikasi :

$$\begin{array}{ll}
A_x = 1875,453 \text{ cm}^2 & I_x = 1295,2206 \text{ cm}^4 \\
A_y = 171,078 \text{ cm}^2 & I_y = 4104,679625 \text{ cm}^4 \\
A_z = 210,878 \text{ cm}^2 & I_z = 68163,32339 \text{ cm}^4
\end{array}$$

### 3.7.3 Pendimensian Balok Cucu



Balok dengan  $L = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Perencanaan tinggi balok (h)} &= \frac{1}{10} L - \frac{1}{15} L \\ &= \frac{1}{10} 300 - \frac{1}{15} 300 \\ &= 30 \text{ cm} - 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

Direncanakan tinggi total balok ( $d_g$ ) = 30 cm

Maka digunakan profil Castel 300 . 100

Dari tabel baja diperoleh :

$d$  : 300,0 mm                       $w$  : 21,30 Kg/m

$b_f$  : 100,0 mm                       $I_x$  : 4306,8 cm<sup>4</sup>

$t_w$  : 5,5 mm                       $I_y$  : 134,0 cm<sup>4</sup>

$t_f$  : 8,0 mm                       $i_x$  : 14,00 cm

$r$  : 11,0 mm                       $i_y$  : 2,50 cm

$D_s$  : 205,0 mm                       $Z_x$  : 287,10 cm<sup>3</sup>

$D_{tee}$  : 47,5 mm                       $Z_y$  : 26,80 cm<sup>3</sup>

$A_g \text{ maks}$  : 32,7 Cm<sup>2</sup>                       $A_g \text{ min}$  : 21,4 Cm<sup>2</sup>



Pemeriksaan Pengaruh tekuk lokal (kelangsingan penampang)

$$\begin{aligned} \text{- Pelat badan} \quad \lambda_w &= \frac{h - 2(tf + r)}{tw} \leq \lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} \\ \lambda_w &= \frac{300 - 2(8 + 11)}{5,5} \leq \end{aligned}$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{240}}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pw}$$

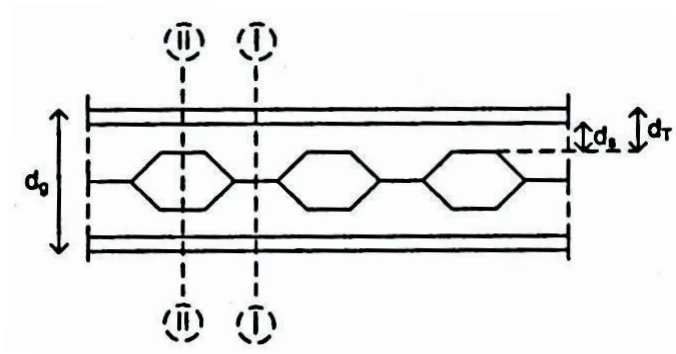
$$47,636 \leq 108,444 \quad \text{Maka, Penampang Kompak}$$

$$\text{- Pelat sayap} \quad \lambda_f = \frac{b}{2tf} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\lambda_f = \frac{100}{2 \times 8} \leq \lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{240}}$$

$$\lambda_w \leq \lambda_{pf}$$

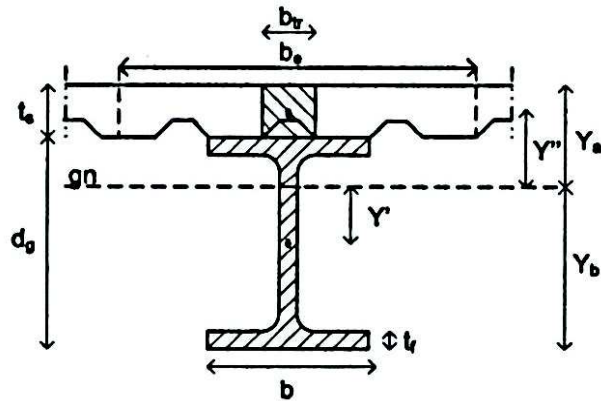
$$6,250 \leq 10,9735 \quad \text{Maka, Penampang Kompak}$$



Gambar 3.4 Penampang Balok Castella

## A. Potongan I - I

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned} f_c &= 30 \text{ Mpa} & f_y &= 240 \text{ Mpa} \\ E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\ &= 210000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned} b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 300 &= 75 \text{ cm} \\ &\leq b_o &= 780 \\ &\leq b + 16 t_s &= 10 + 16 \times 12 &= 202 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 75 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16 \\ \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{75}{8,158} = 9,194 \text{ cm} \\ \text{Komposit (b}_{tr}\text{)} &= b_{tr} \times t_s \\ \text{Luas Penampang beton komposit} &= b_{tr} \times t_s \\ \text{( A}_{tr}\text{)} &= 9,19 \times 12 = 110,327 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen    | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat     | 110,327                               | 6,000                                      | 661,9618              | 1323,924                          |
| WF400.150 | 32,66                                 | 27,000                                     | 881,82                | 4306,8                            |
| Σ         | 142,987                               |  | 1543,782              | 5630,724                          |

$$y_a = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{1543,78}{142,987} = 10,797 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 30 + 12 - 10,797 \\ &= 31,203 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 10,797 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 4,796661 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 27 - 10,797 = 16,203 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{trz} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + \\ &= 1323,924 + \left[ 110,327 \cdot 4,796661^2 \right] + 4307 + \\ &\quad \left[ 32,660 \cdot 16,203^2 \right] \\ &= 16743,94591 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{trx} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + \left( (d_g - 2t_f) \cdot t_w^3 \right) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\
&= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 10 \cdot 0,8^3) + \left( (30 - 2 \cdot 0,6) \cdot 0,8^3 \right) + \\
&\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{9,194} \right) \right) 9,194 \cdot 12^3 \right] \\
&= 13046,17653 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{try} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot (d_g - 2 \cdot t_f) \cdot t_w^3 \right) \\
&= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 9,194^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,8 \cdot 10^3 \right) + \\
&\quad \left[ \frac{1}{12} \cdot (30 - 2 \cdot 0,8) \cdot 0,8^3 \right] \\
&= 911,6888224 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$A_x = A_{profil} + A_{plat}$$

$$= 142,987 \text{ cm}^2$$

$$A_z = (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \right] + \left[ 9,194 \cdot 12 \right]$$

$$= 126,327 \text{ cm}^2$$

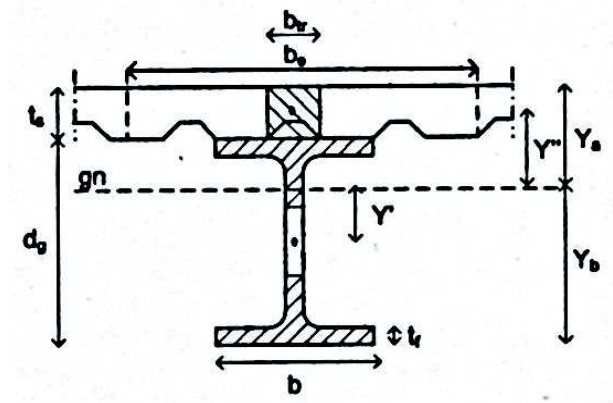
$$A_z = (d_g \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s)$$

$$= \left[ 30 \cdot 0,8 \right] + \left[ 9,194 \cdot 12 \right]$$

$$= 134,327 \text{ cm}^2$$

## B. Potongan II - II

Pendimensian Komposit



Data perencanaan :

$$\begin{aligned} f_c &= 8 \text{ Mpa} & f_y &= 20 \text{ Mpa} \\ E_s &= 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 & t_s &= 12 \text{ cm} \\ &= 210000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Menentukan lebar efektif untuk gelagar interior

$$\begin{aligned} b_e &\leq \frac{1}{4} L &= \frac{1}{4} \times 300 &= 75 \text{ cm} \\ &\leq b_o &= 780 \\ &\leq b + 16 t_s &= 10 + 16 \times 12 &= 202 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_e = 75 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio Modulus Elastisitas (n)} &= \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,16 \\
 \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{750}{8,158} = 91,939 \text{ cm} \\
 \text{Komposit (b}_{tr}\text{)} &= \frac{b_e}{n} = \frac{750}{8,158} = 91,939 \text{ cm} \\
 \text{Luas Penampang beton komposit} &= b_{tr} \times t_s \\
 \text{( A}_{tr}\text{)} &= 91,94 \times 12 = 1103,27 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas

| Elemen    | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat     | 1103,270                              | 6,000                                      | 6619,618              | 13239,237                         |
| WF400.150 | 21,36                                 | 27,000                                     | 576,72                | 4306,8                            |
| Σ         | 1124,630                              |  | 7196,338              | 17546,037                         |

$$y_a = \frac{\sum A y}{\sum A} = \frac{7196,34}{1124,630} = 6,399 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 y_b &= d_g + t_s - y_a \\
 &= 30 + 12 - 6,399 \\
 &= 35,601 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\
 &= 6,399 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\
 &= 0,398851 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 27 - 6,399 = 20,601 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{trz} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\
 &= 13239,24 + \left[ 1103,270 \cdot 0,398851^2 \right] + 4307 + \\
 &\quad \left[ 21,360 \cdot 20,601^2 \right] \\
 &= 26786,88795 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{trx} &= \left[ \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot b_f \cdot t_f^3) \right] + ((2d_s) \cdot t_w^3) + \left[ \left( 1 - \left( 0,63 \cdot \frac{t_s}{b_{tr}} \right) \right) b_{tr} \cdot t_s^3 \right] \\
&= \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot 10 \cdot 0,8^3) + ((2 \cdot 4,0) \cdot 0,8^3) + \\
&\quad \left[ \left( 1 - \left( \frac{0,63 \cdot 12}{91,939} \right) \right) 9,194 \cdot 12^3 \right] \\
&= 1299,616533 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{try} &= \left( \frac{1}{12} \cdot t_s \cdot b_{tr}^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot t_f \cdot b_f^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot d_s \cdot t_w^3 \right) \\
&= \left( \frac{1}{12} \cdot 12 \cdot 9,194^3 \right) + \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,8 \cdot 10^3 \right) + \\
&\quad \left( 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4,0 \cdot 0,8^3 \right) \\
&= 910,8141558 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_x &= A_{profil} + A_{plat} \\
&= 1124,630 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_z &= (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (b_{tr} \cdot t_s) \\
&= \left[ 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \right] + \left[ 9,194 \cdot 12 \right] \\
&= 126,327 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

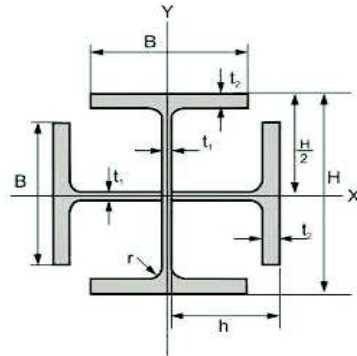
$$\begin{aligned}
A_y &= (d_g \cdot t_w) - (2 \cdot h' \cdot t_w) + (b_{tr} \cdot t_s) \\
&= \left[ 30 \cdot 0,8 \right] - \left[ 2 \cdot 20,5 \cdot 0,8 \right] + \left[ 9,194 \cdot 12 \right] \\
&= 101,527 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Berdasarkan Hasil perhitungan profil baja castella komposit, yaitu pada potongan I-I dan potongan II-II maka nilai  $A_x$ ,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $A_y$ ,  $A_z$ , dibandingkan dan dipilih profil yang mempunyai nilai-nilai yang minimum (kritis) untuk digunakan sebagai tinjauan desain dan digunakan pada analisa struktur (statika) komposit. Maka digunakan profil castella komposit pada potongan II-II dengan spesifikasi :

$$\begin{array}{ll}
A_x = 1124,630 \text{ cm}^2 & I_x = 1299,616533 \text{ cm}^4 \\
A_y = 101,527 \text{ cm}^2 & I_y = 910,8141558 \text{ cm}^4 \\
A_z = 126,327 \text{ cm}^2 & I_z = 26786,88795 \text{ cm}^4
\end{array}$$

### 3.8 Perencanaan Kolom

#### 3.8.1 Kolom non Komposit



Profil kolom yang digunakan Profil WF 2.600.300 dengan spesifikasi :

|       |                        |       |                         |
|-------|------------------------|-------|-------------------------|
| $A_s$ | $= 192,5 \text{ cm}^2$ | $r$   | $= 2,8 \text{ cm}$      |
| $h$   | $= 58,8 \text{ cm}$    | $I_x$ | $= 118000 \text{ cm}^4$ |
| $b_f$ | $= 30 \text{ cm}$      | $I_y$ | $= 9020 \text{ cm}^4$   |
| $t_w$ | $= 1,2 \text{ cm}$     | $i_x$ | $= 24,8 \text{ cm}$     |
| $t_f$ | $= 2,0 \text{ cm}$     | $i_y$ | $= 6,85 \text{ cm}$     |

a. Luas Penampang ( $A_x$ ), Momen Inersia ( $I_z$  dan  $I_y$ ), Momen torsi

( $I_x$ ) , Luas penampang geser

( $A_y$  dan  $A_z$ ) dari kolom :

$$A_x = 2 \times A_s$$

$$= 2 \times 192,5$$

$$= 385,000 \text{ cm}^2$$

$$I_x = I_x + I_y$$

$$= 118000 + 9020$$

$$= 127020 \text{ cm}^2$$



$$I_y = I_y + I_z$$

$$= 9020 + 118000$$

$$= 127020 \text{ cm}^2$$

$$I_z = \frac{1}{3} (2 \cdot (b_f \cdot t_f^3) + (2 \cdot (h - 2t_f) \cdot t_f^3))$$

$$= \frac{1}{3} (2 \cdot (30 \cdot 2^3) + (2 \cdot (58,8 - 2 \cdot 2) \cdot 1,2^3))$$

$$= 349,3888 \text{ cm}^2$$

$$A_y = (h \cdot t_w) + (2 \cdot b_f \cdot t_f)$$

$$= (58,8 \cdot 1,2) + (2 \cdot 30 \cdot 2)$$

$$= 190,560 \text{ cm}^2$$

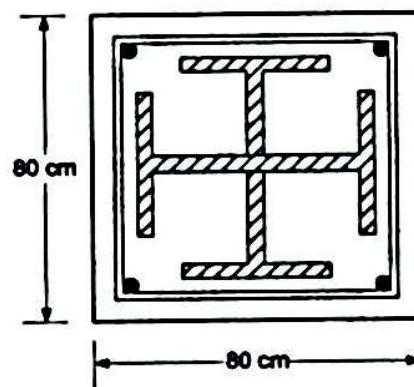
$$A_x = (2 \cdot b_f \cdot t_f) + (h \cdot t_w)$$

$$= (2 \cdot 30 \cdot 2) + (58,8 \cdot 1,2)$$

$$= 190,560 \text{ cm}^2$$

### 3.8.2 Kolom Komposit

Kolom komposit terselubung beton .



Direncanakan dimensi kolom komposit 80 cm x 80 cm dan

profil kolom digunakan King Cross 588.300 dengan spesifikasi :

$$A_s = 192,5 \text{ cm}^2 \quad r = 2,8 \text{ cm}$$

|       |     |                   |       |     |                       |
|-------|-----|-------------------|-------|-----|-----------------------|
| $h$   | $=$ | $58,8 \text{ cm}$ | $I_x$ | $=$ | $118000 \text{ cm}^4$ |
| $b_f$ | $=$ | $30 \text{ cm}$   | $I_y$ | $=$ | $9020 \text{ cm}^4$   |
| $t_w$ | $=$ | $1,2 \text{ cm}$  | $i_x$ | $=$ | $24,8 \text{ cm}$     |
| $t_f$ | $=$ | $2,0 \text{ cm}$  | $i_y$ | $=$ | $6,85 \text{ cm}$     |

Kriteria untuk kolom komposit (ps 12.2.1, Pustaka) :

1. Tegangan leleh baja profil dan tulangan baja yang digunakan tidak boleh melebihi 380 Mpa

$$f_{y\text{profil}} (f_y) = 240 < 380 \text{ Mpa}$$

$$f_{ytulangan} (f_{yt}) = 240 < 380 \text{ Mpa untuk mutu baja tulangan U24}$$

2. Mutu beton yang digunakan tidak lebih dari pada 55 Mpa dan tidak kurang dari 21 Mpa untuk beton normal

$$21 \text{ Mpa} < f_c = 30 \text{ Mpa} < 55 \text{ Mpa}$$

3. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang Komposit Total

$$A_s > (4\% \cdot A_{\text{komposit}})$$

$$A_s = 2 \times 192,5 = 385,000 \text{ cm}^2 > 4\% (80 \times 80) = 256,000 \text{ cm}^2$$

4. Tebal bersih selimut beto = 40 mm

Digunakan tulangan logitudinal rencana 4 D 16

Digunakan tulangan transversal rencana D 8 - 200

Spasi antar tulangan longitudinal

$$= 800 - \left[ 2 \times 40 \right] + \left[ 2 \times 8 \right] + \left[ 2 \times \frac{1}{2} \times 16 \right]$$

$$= 752 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{Longitudinal}} &= \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ &= \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right] \\ &= 201,143 \text{ mm}^2 > 0,18 \times 752 = 135,360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{Stransversal}} &= \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ &= \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 8^2 \right] \\ &= 50,286 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jarak sengkang} = 200 \text{ mm} < \frac{2}{3} \cdot 800 = 533,333 \text{ mm}$$

Kontrol lebar bersih :

$$2 \times 40 + 2 \times 8 + 2 \times 16 + 588 = 716 \text{ mm} < 800$$

- Modifikasi tegangan leleh untuk komposit

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (A}_r\text{)} &= 4 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ &= 4 \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right] \\ &= 804,571 \text{ mm}^2 = 8,046 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan (A}_s\text{)} &= 2 \times A_s \\ &= 2 \times 192,5 \\ &= 385,000 \text{ cm}^2 = 38500,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas beton (A}_c\text{)} &= A_{\text{komposit}} - A_r - A_s \\ &= \left[ 800 \times 800 \right] - 804,571 - 38500,000 \\ &= 600695,429 \text{ mm}^2 = 6006,954 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton koefisien yang disyaratkan adalah Sebagai Berikut (Ps 12.2.2,pustaka 7) :

$$c_1 = 0,7 \qquad c_2 = 0,6 \qquad c_3 = 0,2$$

Maka :

$$\begin{aligned}
 f_{my} &= f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left( \frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \left( \frac{A_c}{A_s} \right) \\
 &= 2400 + 0,7 \cdot 2400 \left( \frac{8,05}{385} \right) + 0,6 \cdot 300 \left( \frac{6006,954}{385} \right) \\
 &= 5243,554731 \text{ kgm/cm}^2 = 524,35547 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

• Modifikasi modulus elastisitas untuk kolom komposit :

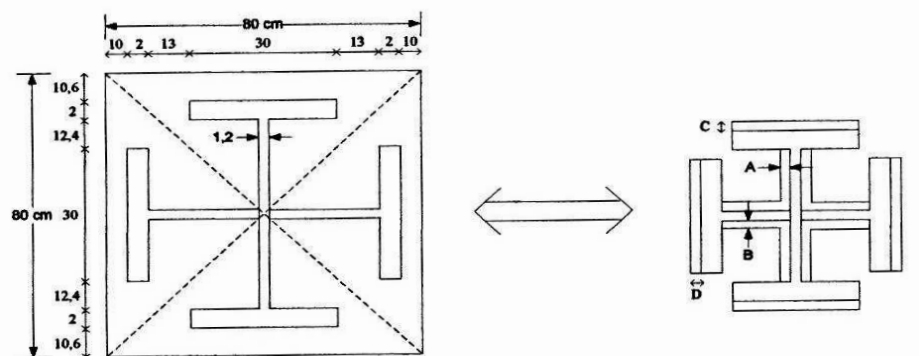
$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,960 \text{ Mpa} = 257429,602 \text{ kgm/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2,1 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 E_m &= E + c_3 \cdot E_c \cdot \left( \frac{A_c}{A_s} \right) \\
 &= 2,1 \cdot 10^5 + 0,2 \times 25742,960 \times \left( \frac{600695,429}{38500,000} \right) \\
 &= 290330,7975 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,1 \cdot 10^5}{25742,960} = 8,15757$$

a. Transformasi penampang beton ke baja



Perhitungan Luas :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \times 26,800 \times 13,700 \\ &= 183,580 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{2} \times 27,400 \times 13,400 \\ &= 183,580 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \left( \frac{80 + 60}{2} \right) \times 10,600 \\ &= 742,000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{80 + 54,8}{2} \right) \times 10,000 \\ &= 674,000 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Transformasi penampang beton ke baja :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\left( \frac{183,580}{7,953} \right)}{26,800} \\ &= 0,861 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= \frac{\left( \frac{183,580}{7,953} \right)}{27,400} \\ &= 0,842 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{\left( \frac{742}{7,953} \right)}{60,000} \\ &= 1,555 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \frac{\left( \frac{672}{7,953} \right)}{53,800} \\ &= 1,571 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimensi penampang kolom setelah transformasi :

Profil 1

$$h = 58,800 + \left[ 2 \times 1,558 \right] = 61,916 \text{ cm}$$

$$b_f = 30 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,200 + \left[ 2 \times 0,863 \right] = 2,926 \text{ cm}$$

$$t_r = 2,000 + 1,558 = 3,558 \text{ cm}$$

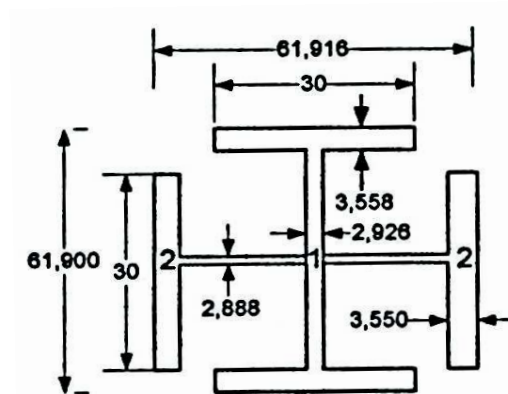
Profil 2

$$h = 58,800 + \left[ 2 \times 1,55 \right] = 61,900 \text{ cm}$$

$$b_f = 30 \text{ cm}$$

$$t_w = 1,200 + \left[ 2 \times 0,844 \right] = 2,888 \text{ cm}$$

$$t_r = 2,000 + 1,550 = 3,550 \text{ cm}$$



Luas penampang ( $A_x$ ), Momen Inersia ( $I_z$  dan  $I_y$ ), Momen torsi ( $I_x$ ), Luas penampang geser ( $A_y$  dan  $A_z$ ) dari penampang kolom setelah komposit

$$A_{f1} = b_{f1} \cdot t_{f1} = 30 \times 3,558 = 106,74 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{w1} &= (h_1 - (2 \cdot t_{f1})) t_{w1} = \left[ 61,916 - (2 \cdot 3,558) \right] \cdot 2,926 \\ &= 160,345 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{f2} = b_{f2} \cdot t_{f2} = 30 \times 3,550 = 106,5 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{w2} &= (h_2 - (2 \cdot t_{f2})) t_{w2} = \left[ 61,900 - (2 \cdot 3,550) \right] \cdot 2,888 \\ &= 158,262 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_z &= \{(2.A_{f1}) + A_{w1}\} + \{(2.A_{f2}) + A_{w2}\} \\
&= \left\{ \left[ 2 \cdot 106,740 \right] + 160,345 \right\} + \left\{ \left[ 2 \cdot 106,500 \right] + 158,262 \right\} \\
&= 745,087 \quad \text{cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_x &= 2 \cdot \left( \frac{b_f \cdot t_{f1}^3}{12} + A_{f1} \left( \frac{h_1}{2} - \frac{t_{f1}}{2} \right)^3 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot t_{w1} \cdot (h_1 - 2t_{f1})^3 + (A_{w1} \cdot 0) \right) + \\
&\quad 2 \cdot \left( \frac{t_{f2} \cdot b_f^3}{12} + (A_{f2} \cdot -0) \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot (h_2 - 2t_{f2}) t_{w2}^3 + (A_{w2} \cdot 0) \right) \\
&= 2 \left[ \frac{30 \cdot 3,558^3}{12} + 106,740 \left[ \frac{61,916}{2} - \frac{3,558}{2} \right]^3 \right] + \\
&\quad \frac{1}{12} \cdot 2,926 \left[ 61,916 - 2 \cdot 3,558 \right]^3 + 2 \cdot \frac{3,550 \cdot 30^3}{12} + \\
&\quad \frac{1}{12} \left[ 61,900 - 2 \cdot 3,550 \right] \cdot 2,888^3 \\
&= 2 \left[ 112,60504 + 90879,9347 \right] + 40126,821 + \left[ \left[ 2 \cdot 7987,5 \right] + \right. \\
&\quad \left. 110 \right] \\
&= 238196,900 \quad \text{cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_y &= 2 \cdot \left( \frac{b_f \cdot t_{f2}^3}{12} + A_{f2} \left( \frac{h_2}{2} - \frac{t_{f2}}{2} \right)^3 \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot t_{w2} \cdot (h_2 - 2t_{f2})^3 + (A_{w2} \cdot 0) \right) + \\
&\quad 2 \cdot \left( \frac{t_{f1} \cdot b_f^3}{12} + (A_{f1} \cdot -0) \right) + \left( \frac{1}{12} \cdot (h_1 - 2t_{f1}) t_{w1}^3 + (A_{w1} \cdot 0) \right) \\
&= 2 \left[ \frac{30 \cdot 3,55^3}{12} + 106,500 \left[ \frac{61,900}{2} - \frac{3,55}{2} \right]^3 \right] + \\
&\quad \frac{1}{12} \cdot 2,888 \left[ 61,900 - 2 \cdot 3,55 \right]^3 + 2 \cdot \frac{3,550 \cdot 30^3}{12} + \\
&\quad \frac{1}{12} \left[ 61,916 - 2 \cdot 3,558 \right] \cdot 2,926^3 \\
&= 2 \left[ 111,84719 + 90650,7366 \right] + 39605,693 + \left[ \left[ 2 \cdot 7987,5 \right] + \right. \\
&\quad \left. 114,399 \right] \\
&= 237220,260 \quad \text{cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_z &= \frac{1}{3} (2 \cdot (b_f \cdot t_{f1}^3) + (h_1 - 2 \cdot t_{f1}) \cdot t_{w1}^3) + (2 \cdot (b_f \cdot t_{f2}^3) + \\
&\quad (h_2 - 2 \cdot t_{f2}) \cdot t_{w2}^3) \\
&= \frac{1}{3} \left[ 2 \left[ 30 \cdot 3,558^3 \right] + \left[ 61,916 - 2 \cdot 3,558 \right] \cdot 2,926^3 \right] + \\
&\quad \left[ 2 \left[ 30 \cdot 3,55^3 \right] + \left[ 61,900 - 2 \cdot 3,550 \right] \cdot 2,888^3 \right] \\
&= 6277,956 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_y &= h_1 \cdot t_{w1} + (2 \cdot b_f \cdot t_{f2}) \\
&= 61,916 \cdot 2,926 + \left[ 2 \cdot 30 \cdot 3,550 \right] \\
&= 394,166 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_x &= h_2 \cdot t_{w2} + (2 \cdot b_f \cdot t_{f1}) \\
&= 61,900 \cdot 2,888 + \left[ 2 \cdot 30 \cdot 3,558 \right] \\
&= 392,247 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$



Hasil output dari Program ETABS, untuk menghitung koordinat pusat massa.

Ukuran gedung :

$L_1$  : 15,00 m

$L_2$  35,00 m

Tabel 3.77 Tabel Output Pusat Massa dan Grafitasi

| TABLE: Centers of Mass and Rigidity |           |                       |                       |         |         |                       |                       |         |         |         |         |
|-------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| Story                               | Diaphragm | Mass X                | Mass Y                | XCM     | YCM     | Cumulative X          | Cumulative Y          | XCCM    | YCCM    | XCR     | YCR     |
|                                     |           | kgf-s <sup>2</sup> /m | kgf-s <sup>2</sup> /m | m       | m       | kgf-s <sup>2</sup> /m | kgf-s <sup>2</sup> /m | m       | m       | m       | m       |
| LANTAI 2                            | D2        | 80578,11              | 80578,11              | 17,4641 | 7,717   | 80578,11              | 80578,11              | 17,4641 | 7,717   | 17,4998 | 7,7024  |
| LANTAI 3                            | D3        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,4996 | 7,833   |
| LANTAI 4                            | D4        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,4996 | 7,9048  |
| LANTAI 5                            | D5        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,4996 | 7,95    |
| LANTAI 6                            | D6        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,4997 | 7,9822  |
| LANTAI 7                            | D7        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,4998 | 8,0082  |
| LANTAI 8                            | D8        | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 78088,06              | 78088,06              | 17,4629 | 7,7216  | 17,5002 | 8,0332  |
| ATAP                                | DATAP     | 67512,66              | 67512,66              | 17,4863 | 7,832   | 67512,66              | 67512,66              | 17,4863 | 7,832   | 17,5049 | 8,0717  |
| ATAPLIFT                            | DATAPLIFT | 7110,39               | 7110,39               | 20,25   | 11,5853 | 7110,39               | 7110,39               | 20,25   | 11,5853 | 19,3817 | 11,2142 |

**3.9** Menurut SNI 1726 : 2012 pasal 5.4.3 yang menyatakan bahwa : Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana ( $e_d$ ). Apabila ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan  $b$ , maka eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) harus ditentukan sebagai berikut :

a) Untuk  $e_d < 0.3b$ , maka  $e_d = 1.5 e + 0.05 b$

$$\text{atau } e_d = e - 0,05 b$$

b) Untuk  $e_d > 0.3b$ , maka  $e_d = 1.33 e + 0.1 b$

$$\text{atau } e_d = 1.17 e - 0,1 b$$

Apabila arah beban gempa searah sumbu X, maka  $b = 35,0 \text{ m}$

Apabila arah beban gempa searah sumbu Y, maka  $b = 15,0 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \bullet \quad 0.3 b \text{ (untuk beban gempa arah } x) &= 0.3 \times 35 \\ &= 10,50 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad 0.3 b \text{ (untuk beban gempa arah } x) &= 0.3 \times 15 \\ &= 4,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung eksentrisitas rencana ( $e_d$ ) :

$$\begin{aligned} \text{Lantai 2, arah } x \quad e_d &= \text{Pusat massa} - \text{Pusat Rotasi} \\ &= 17,4641 - 17,500 \\ &= -0,0357 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{arah } y \quad e_d &= \text{Pusat massa} - \text{Pusat Rotasi} \\ &= 7,717 - 7,702 \\ &= 0,0146 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk lantai 3 dan seterusnya ditampilkan seperti pada tabel berikut :

Tabel 3.9.78 Eksentrisitas (E)

| Lantai   | Pusat Massa |         | Pusat Kekakuan |         | Eksentrisitas (e) |         |
|----------|-------------|---------|----------------|---------|-------------------|---------|
|          | X           | Y       | X              | Y       | X                 | Y       |
| LANTAI 2 | 17,4641     | 7,7170  | 17,4998        | 7,7024  | -0,0357           | 0,0146  |
| LANTAI 3 | 17,4629     | 7,7216  | 17,4996        | 7,8330  | -0,0367           | -0,1114 |
| LANTAI 4 | 17,4629     | 7,7216  | 17,4996        | 7,9048  | -0,0367           | -0,1832 |
| LANTAI 5 | 17,4629     | 7,7216  | 17,4996        | 7,9500  | -0,0367           | -0,2284 |
| LANTAI 6 | 17,4629     | 7,7216  | 17,4997        | 7,9822  | -0,0368           | -0,2606 |
| LANTAI 7 | 17,4629     | 7,7216  | 17,4998        | 8,0082  | -0,0369           | -0,2866 |
| LANTAI 8 | 17,4629     | 7,7216  | 17,5002        | 8,0332  | -0,0373           | -0,3116 |
| ATAP     | 17,4863     | 7,8320  | 17,5049        | 8,0717  | -0,0186           | -0,2397 |
| ATAPLIFT | 20,2500     | 11,5853 | 19,3817        | 11,2142 | 0,8683            | 0,3711  |

Tabel 3.9.79 Eksentrisitas (E)

Karena nilai  $E_d < 0.3b$  maka digunakan rumus eksentrisitas bagian (a)

| Lantai   | $e_d = 1,5e + 0,05b$ |      | $e_d = e - 0,05b$ |         |
|----------|----------------------|------|-------------------|---------|
|          | X                    | Y    | X                 | Y       |
| LANTAI 2 | 1,70                 | 0,77 | -1,7857           | -0,7354 |
| LANTAI 3 | 1,69                 | 0,58 | -1,7867           | -0,8614 |
| LANTAI 4 | 1,69                 | 0,48 | -1,7867           | -0,9332 |
| LANTAI 5 | 1,69                 | 0,41 | -1,7867           | -0,9784 |
| LANTAI 6 | 1,69                 | 0,36 | -1,7868           | -1,0106 |
| LANTAI 7 | 1,69                 | 0,32 | -1,7869           | -1,0366 |
| LANTAI 8 | 1,69                 | 0,28 | -1,7873           | -1,0616 |
| ATAP     | 1,72                 | 0,39 | -1,7686           | -0,9897 |
| ATAPLIFT | 3,05                 | 1,31 | -0,8817           | -0,3789 |

Koordinat pusat massa yang baru dihitung sebagai berikut :

$$X_m' = X_{CR} + ed$$

$$Y_m' = Y_{CR} + ed$$

Tabel 3.9.80 Eksentrisitas (E)

| Lantai   | Pusat Kekakuan |       | ed = 1,5e + 0,05b |      | Koordinat Pusat Massa |         |
|----------|----------------|-------|-------------------|------|-----------------------|---------|
|          | X              | Y     | X                 | Y    | Xm'                   | Ym'     |
| LANTAI 2 | 17,50          | 7,70  | 1,70              | 0,77 | 19,1963               | 8,4743  |
| LANTAI 3 | 17,50          | 7,83  | 1,69              | 0,58 | 19,1946               | 8,4159  |
| LANTAI 4 | 17,50          | 7,90  | 1,69              | 0,48 | 19,1946               | 8,3800  |
| LANTAI 5 | 17,50          | 7,95  | 1,69              | 0,41 | 19,1946               | 8,3574  |
| LANTAI 6 | 17,50          | 7,98  | 1,69              | 0,36 | 19,1945               | 8,3413  |
| LANTAI 7 | 17,50          | 8,01  | 1,69              | 0,32 | 19,1945               | 8,3283  |
| LANTAI 8 | 17,50          | 8,03  | 1,69              | 0,28 | 19,1943               | 8,3158  |
| ATAP     | 17,50          | 8,07  | 1,72              | 0,39 | 19,2270               | 8,4622  |
| ATAPLIFT | 19,38          | 11,21 | 3,05              | 1,31 | 22,4342               | 12,5209 |

Tabel 3.9.81 Eksentrisitas (E)

| Lantai   | Pusat Kekakuan |         | ed = e - 0,05b |       | Koordinat Pusat Massa |         |
|----------|----------------|---------|----------------|-------|-----------------------|---------|
|          | X              | Y       | X              | Y     | Xm'                   | Ym'     |
| LANTAI 2 | 17,4998        | 7,7024  | -1,79          | -0,74 | 15,7141               | 6,9670  |
| LANTAI 3 | 17,4996        | 7,8330  | -1,79          | -0,86 | 15,7129               | 6,9716  |
| LANTAI 4 | 17,4996        | 7,9048  | -1,79          | -0,93 | 15,7129               | 6,9716  |
| LANTAI 5 | 17,4996        | 7,9500  | -1,79          | -0,98 | 15,7129               | 6,9716  |
| LANTAI 6 | 17,4997        | 7,9822  | -1,79          | -1,01 | 15,7129               | 6,9716  |
| LANTAI 7 | 17,4998        | 8,0082  | -1,79          | -1,04 | 15,7129               | 6,9716  |
| LANTAI 8 | 17,5002        | 8,0332  | -1,79          | -1,06 | 15,7129               | 6,9716  |
| ATAP     | 17,5049        | 8,0717  | -1,77          | -0,99 | 15,7363               | 7,0820  |
| ATAPLIFT | 19,3817        | 11,2142 | -0,88          | -0,38 | 18,5000               | 10,8353 |

### 3.10 Kontrol Simpangan Struktur

Berikut ini tabel simpangan horisontal, yakni :

- Faktor Keutamaan Gempa ( $I_E$ ) : 1,5 ( Kategori IV )
- Koefisien modifikasi respon ( $R$ ) : 8
- Faktor pembesaran Defleksi ( $c_d$ ) : 3
- Simpangan antar lantai ijin :  $0,020 h_i$
- Simpangan Antar Lantai Arah X

$$\begin{aligned}\delta_{ex} \text{ Atap} &= dx \text{ Atap} - dx \text{ lantai 16} \\ &= 77,80 - 74,30 \\ &= 3,50 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Simpangan Antar Lantai Arah Y

$$\begin{aligned}\delta_{ey} \text{ Atap} &= dy \text{ Atap} - dy \text{ lantai 16} \\ &= 24,10 - 22,50 \\ &= 1,60 \text{ mm}\end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya, ditabelkan seperti dibawah ini :

Tabel 3.82 Simpangan horisontal struktur arah x dan y

| Story  | Tinggi Lantai | Simpangan Struktur |        | Simpangan ant lantai |            |
|--------|---------------|--------------------|--------|----------------------|------------|
|        |               | Arah x             | Arah y | Arah x               | Arah y     |
|        |               | $dx$               | $dy$   | $\delta_x$           | $\delta_y$ |
|        | m             | mm                 | mm     | mm                   | mm         |
| RL     | 36            | 77,8               | 24,1   | 3,5                  | 1,6        |
| Roof   | 33            | 74,3               | 22,5   | 4,5                  | 1,6        |
| Story8 | 29            | 69,8               | 20,9   | 6,6                  | 2,1        |
| Story7 | 25            | 63,2               | 18,8   | 8,7                  | 2,7        |
| Story6 | 21            | 54,5               | 16,1   | 10,3                 | 3,0        |
| Story5 | 17            | 44,2               | 13,1   | 11,4                 | 3,4        |

|        |    |      |     |      |     |
|--------|----|------|-----|------|-----|
| Story4 | 13 | 32,8 | 9,7 | 12   | 3,4 |
| Story3 | 9  | 20,8 | 6,3 | 11,6 | 3,4 |
| Story2 | 5  | 9,2  | 2,9 | 9,2  | 2,9 |
| Base   | 0  | 0    | 0   | 0    | 0   |

Dimana :

$dx$  = Simpangan struktur arah  $x$

$dy$  = Simpangan struktur arah  $y$

$\delta_x$  = Simpangan antar lantai arah  $x$

$\delta_y$  = Simpangan antar lantai arah  $y$

### Defleksi arah $x$ lantai 2

$$\text{Lantai 1} = \delta_{e1} = 9,20 \text{ mm}$$

Perpindahan yang di perbesar :

$$\begin{aligned} \delta_{1x} &= \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I_E} \\ &= \frac{3 \times 9,20}{1,50} = 18,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_a &= 0,020 \times h_1 \\ &= 0,020 \times 5000 \\ &= 100,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \delta_{1x} \leq \Delta_a \\ &= 18,40 \leq 100,00 \end{aligned}$$

### Defleksi arah $y$ lantai 2

$$\text{Lantai 1} = \delta_{e1} = 2,90 \text{ mm}$$

Perpindahan yang di perbesar :

$$\delta_{1x} = \frac{C_d \times \delta_{e1}}{I_E}$$

$$= \frac{3 \times 2,90}{1,50} = 5,80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{a1} &= 0,020 \times h_1 \\ &= 0,020 \times 5000 \\ &= 100,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= \delta_{1x} \leq \Delta_a \\ &= 5,80 \leq 100,00\end{aligned}$$

### **Defleksi arah x lantai 3**

$$\text{Lantai 2} = \delta_{e2} = 11,60 \text{ mm}$$

$$\text{Lantai 1} = \delta_{e1} = 9,20 \text{ mm}$$

Perpindahan yang di perbesar :

$$\begin{aligned}\delta_{2x} &= \frac{C_d \times \delta_{e2x}}{I_E} \\ &= \frac{3 \times 11,60}{1,50} = 23,20 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{2x} &= \frac{C_d \times (\delta_{e2} - \delta_{e1})}{I_E} \\ &= \frac{3 \times 2,40}{1,50} = 4,80 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{a2} &= 0,020 \times h_2 \\ &= 0,020 \times 4000 \\ &= 80,0 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_2 &= \Delta_{2x} \leq \Delta_a \\ &= 4,80 \leq 80,00\end{aligned}$$

### **Defleksi arah y lantai 3**

$$\text{Lantai 2} = \delta_{e2} = 3,40 \text{ mm}$$

$$\text{Lantai 1} = \delta_{e1} = 2,90 \text{ mm}$$

Perpindahan yang di perbesar :

$$\begin{aligned} \delta_{2y} &= \frac{C_d \times \delta_{e2y}}{I_E} \\ &= \frac{3 \times 3,40}{1,50} = 6,80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{2y} &= \frac{C_d \times (\delta_{e2} - \delta_{e1})}{I_E} \\ &= \frac{3 \times 0,50}{1,50} = 1,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{a2} &= 0,020 \times h_2 \\ &= 0,020 \times 4000 \\ &= 80,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \Delta_{2y} \leq \Delta_a \\ &= 1,00 \leq 80,00 \end{aligned}$$

Tabel 3.83 Kontrol Simpangan antar Lantai x

| Lantai | Tinggi Lantai | Perpindahan elastis | Perpindahan diperbesar | Simpangan ant. Tingkat desain | Simpangan antar lantai yang diijinkan |                     |
|--------|---------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
|        |               | $\delta_{ex}$       | $\delta_x$             | $\Delta_i$                    | $\Delta_a$                            | $\Delta < \Delta_a$ |
|        | mm            | mm                  | mm                     | mm                            | mm                                    |                     |
| 9      | 3000          | 3,50                | 7,00                   | -2,00                         | 60                                    | OK                  |
| 8      | 4000          | 4,50                | 9,00                   | -4,20                         | 80                                    | OK                  |
| 7      | 4000          | 6,60                | 13,20                  | -4,20                         | 80                                    | OK                  |

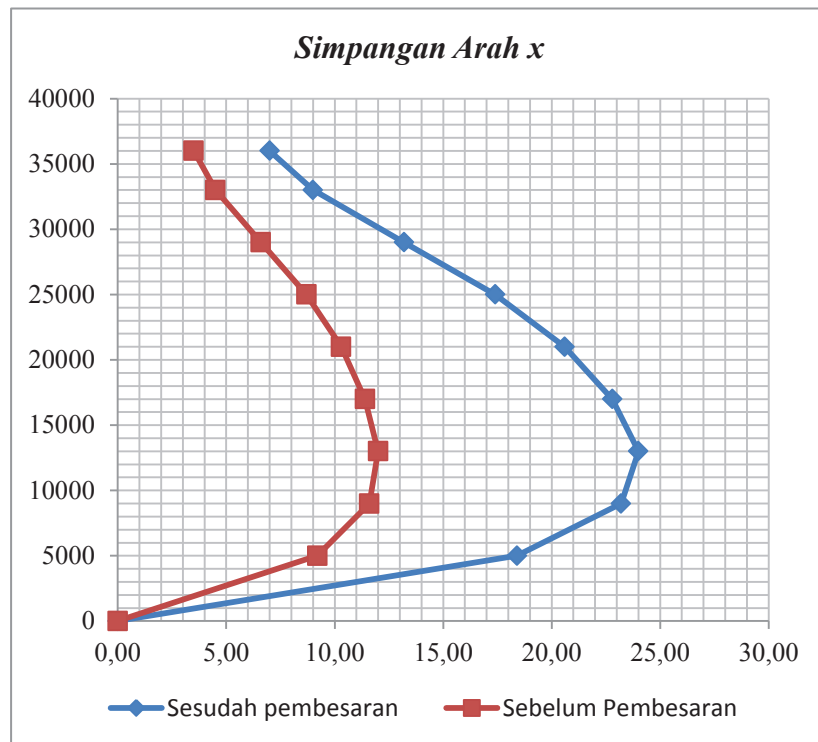


|    |      |       |       |       |     |    |
|----|------|-------|-------|-------|-----|----|
| 6  | 4000 | 8,70  | 17,40 | -3,20 | 80  | OK |
| 5  | 4000 | 10,30 | 20,60 | -2,20 | 80  | OK |
| 4  | 4000 | 11,40 | 22,80 | -1,20 | 80  | OK |
| 3  | 4000 | 12,00 | 24,00 | 0,80  | 80  | OK |
| 2  | 4000 | 11,60 | 23,20 | 4,80  | 80  | OK |
| 1  | 5000 | 9,20  | 18,40 | 18,40 | 100 | OK |
| Bs | 0    | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0   | OK |

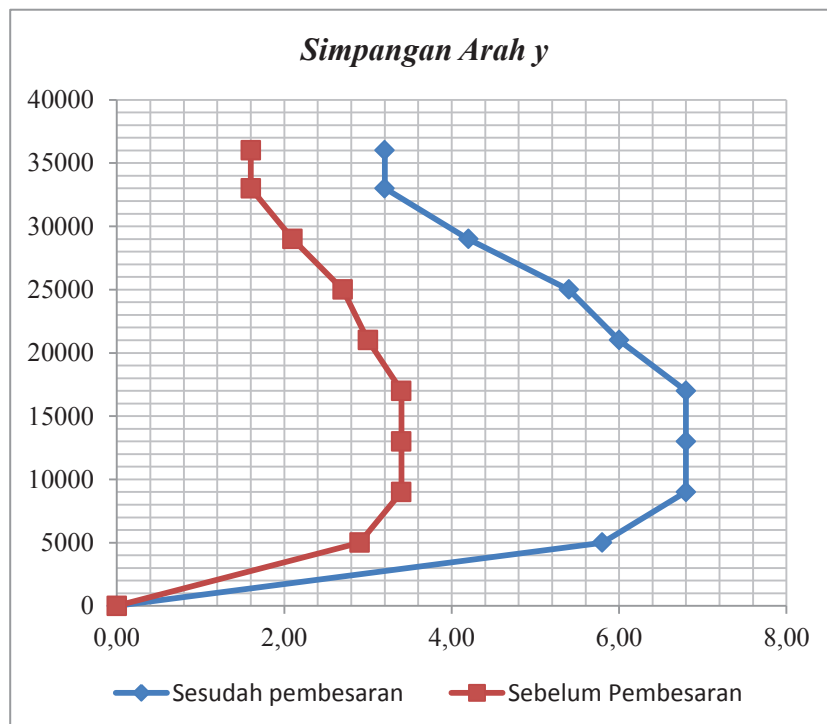
Tabel 3.84 Kontrol Simpangan antar Lantai y

| Lantai | Tinggi Lantai | Perpindahan elastis | Perpindahan diperbesar | Simpangan ant. Tingkat desain | Simpangan antar lantai yang diijinkan |                     |
|--------|---------------|---------------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
|        |               | $\delta_{ey}$       | $\delta_y$             | $\Delta_i$                    | $\Delta_a$                            | $\Delta < \Delta_a$ |
|        |               | mm                  | mm                     | mm                            | mm                                    |                     |
| 9      | 3000          | 1,60                | 3,20                   | 0,00                          | 60                                    | OK                  |
| 8      | 4000          | 1,60                | 3,20                   | -1,00                         | 80                                    | OK                  |
| 7      | 4000          | 2,10                | 4,20                   | -1,20                         | 80                                    | OK                  |
| 6      | 4000          | 2,70                | 5,40                   | -0,60                         | 80                                    | OK                  |
| 5      | 4000          | 3,00                | 6,00                   | -0,80                         | 80                                    | OK                  |
| 4      | 4000          | 3,40                | 6,80                   | 0,00                          | 80                                    | OK                  |
| 3      | 4000          | 3,40                | 6,80                   | 0,00                          | 80                                    | OK                  |
| 2      | 4000          | 3,40                | 6,80                   | 1,00                          | 80                                    | OK                  |
| 1      | 5000          | 2,90                | 5,80                   | 5,80                          | 100                                   | OK                  |
| Bs     | 0             | 0,00                | 0,00                   | 0,00                          | 0                                     | OK                  |

Grafik 3.2 Simpangan Horizontal Arah X



Grafik 3.3 Simpangan Horizontal Arah Y



## BAB IV

### ANALISA PERENCANAAN

#### 4.1 Perencanaan Balok Induk Line 2

Data perhitungan (beam 115)



Gambar 4.1 Denah lantai 2 (balok yang ditinjau)

$$M_u \text{ Tumpuan} = 16241 \text{ kgm} = 162414600 \text{ Nmm}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = 20774 \text{ kgm} = 207738700 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 17095 \text{ kg}$$

$$L = 6 \text{ m}$$

A. Menentukan modulus plastis tampang yg diperlukan balok

sarang rawon ( $Z_g$ ) untuk momen lentur maksimum

$$Z_{g \text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$Z_{g \text{ perlu}} = \frac{1624146000}{0,9 \times 2400} = 751919,44 \text{ cm}^3$$

**B. Perbandingan tinggi balok sarang tawon dengan tinggi profil baja**

baja sesungguhnya. Diasumsikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok asli.

$$K' = \frac{d_g}{d_b} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{Z_{g\text{perlu}}}{Z_b}$$

$$Z_b = \frac{Z_{g\text{perlu}}}{1,5} = \frac{751919}{1,5} = 501279,63 \text{ cm}^3$$

Digunakan profil castelated beam WF 600.200 komposit dengan spesifikasi ebagai berikut:

Dari tabel baja diperoleh :

$$d : 600,0 \text{ mm} \quad w : 66,00 \text{ Kg/m}$$

$$b_f : 200,0 \text{ mm} \quad I_x : 55683,6 \text{ cm}^4$$

$$t_w : 8,0 \text{ mm} \quad I_y : 1740,0 \text{ cm}^4$$

$$t_f : 13,0 \text{ mm} \quad i_x : 29,00 \text{ cm}$$

$$r : 16,0 \text{ mm} \quad i_y : 5,10 \text{ cm}$$

$$D_s : 405,0 \text{ mm} \quad Z_x : 1856,10 \text{ cm}^3$$

$$D_{tee} : 97,5 \text{ mm} \quad Z_y : 174,00 \text{ cm}^3$$

$$A_{g \text{ maks}} : 100,1 \text{ Cm}^2 \quad A_{g \text{ min}} : 67,7 \text{ Cm}^2$$

Pemeriksaan persyaratan penampang profil

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{20}{2 \times 1,3} = 7,69$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{60 - 2(1,3 + 1,6)}{0,8} = 75,750$$

Penampang kom (Tabel 7-5-1,Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

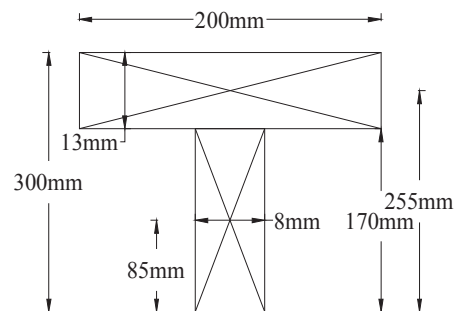
$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \rightarrow 7,69 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \rightarrow 75,8 < 108,444$$

Jadi, tekuk lokal pada flens maupun badan tidak terjadi sebelum kapasitas momen tercapai sehingga kapasitas momen penampang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis.

$$\phi M_n = \phi M_p$$



$$Z_x = 2 \times \left\{ \left[ 20 \times 1,3 \times 29,35 \right] + \left[ 0,8 \times 28,70 \times 14,35 \right] \right\}$$

$$= 2185,152 \text{ cm}^3$$

sehingga diperoleh nilai perbandingan tinggi (K') yang sebenarnya

$$K' = \frac{Z_{gperlu}}{Z_b}$$

$$K' = \frac{751919,4}{2185,152} = 344,1039545$$

### C. Menentukan tinggi pemotongan zig-zag

$$h' = 20,25 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan :

$$d_T = 9,75 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

#### D. Dimensi balok sarang tawon

Tinggi balok sarang tawon :

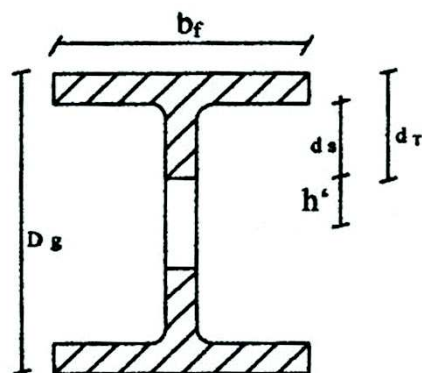
$$D_g = 60 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Tinggi penampang T :

$$d_T = 9,75 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

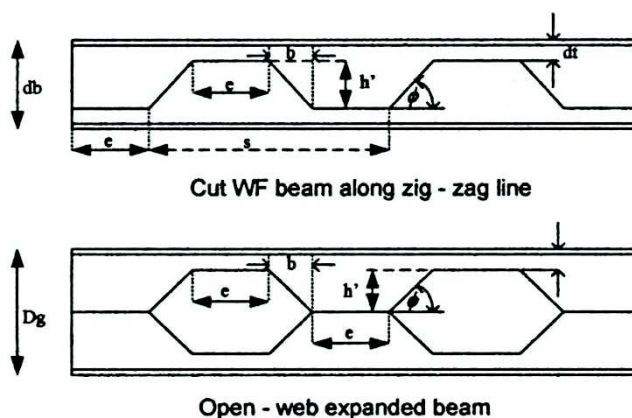
Tinggi Tangkai penampang T :

$$d_s = d_T - t_f = 9,75 - 1,30 = 8,5 \text{ cm}$$



Gambar 4.2 Penampang Melintang Sarang Tawon

Besar kemiringan sudut pemotongan zig-zag diambil  $\phi = 45^\circ$



Gambar 4.3 Pemotongan dan penyambungan Balok Sarang Tawon

**E. Menentukan tegangan kritis pada sisi miring badan balok Sarang**

Tawon berdasarkan pada faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap. (Ps 8.4.2.2 , Pustaka 4)

$$\lambda_G = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{20}{2 \cdot 1,3} = 7,6923$$

Batas- batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}} = 11,241$$

$$\lambda_r = 0,38 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{f_y}}$$

$$\text{Dengan } k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{d_g}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{60}{0,8}}} = 0,462$$

$$\text{maka } \lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{0,459 \times 2,1 \times 10^5}{240}} = 27,055$$

Untuk komponen struktur yang memenuhi

$$\lambda_G = 7,6923 \leq \lambda_p = 11,241$$

maka  $f_c = f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

**F. Tegangan geser pada bagian sisi miring balok Sarang Tawon digunakan**

digunakan jika tegangan geser pada bagian sisi miring harus memenuhi :

$$\bar{\tau} = \frac{4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)^2}{3 \cdot \tan \phi} \cdot f_{cr} \leq f_y \quad (\text{Hal.4.7-15,Pustaka 5})$$

$$\bar{\tau} = \frac{4 \times \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)^2}{3 \times \tan 45} \times 2400 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau} = 1973,921 \text{ kg/cm}^2 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$

Merencanakan tegangan geser maksimum sepanjang garis netral badan balok Sarang Tawon, diasumsikan sebagai balok dengan badan yang utuh :

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= 1,16 \times \frac{V_u}{t_w \cdot D_g} = 1,16 \times \frac{17095,000}{0,8 \times 60} \\ &= 413,1292 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\tau} \quad 1973,921 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

**G.** Setelah diketahui tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok Sarang Tawon, diperoleh rasio :  $e = 10,125$  (Tabel Profil Baja Castella)

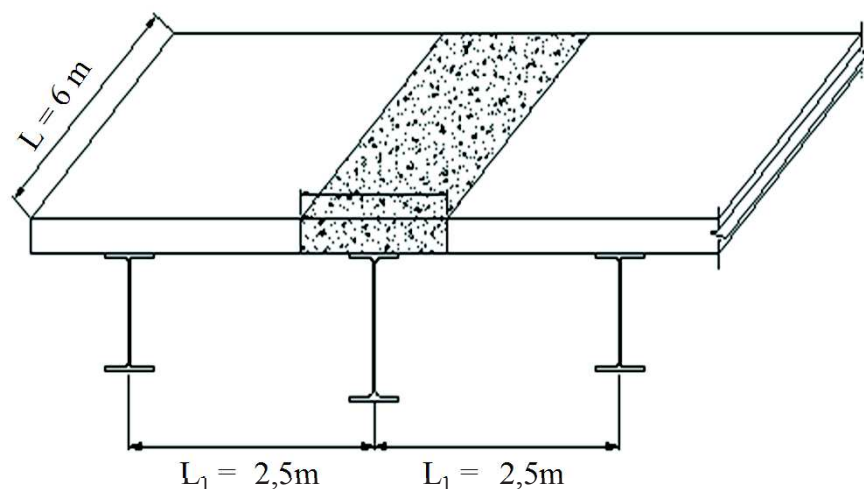
Maka diambil  $e = 10,125 \text{ cm}$

Panjang ( $e$ ) selalu konstan sepanjang bentang

Jarak interval lubang Sarang Tawon :

$$s = 43,74 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

#### ❖ Menentukan Lebar Efektif



Gambar 4.4 Lebar efektif balok induk B115



1) Lebar Efektif ( $b_{eff}$ )

Perhitungan lebar efektif pelat beton ( $b_{eff}$ ) gelagar tengah, yakni :

- $b_{el} \leq \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 600$   
 $\leq 150 \text{ cm}$
- $b_{el} \leq (L_1 + L_2) / 2 = (250 + 250) / 2$   
 $\leq 250 \text{ cm}$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_{eff} = 150 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton } (E_c) &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Rasio Modulus Elastisitas } (n) = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,2$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{150}{8,158} = 18,388 \text{ cm} \\ \text{Komposit } (b_{tr}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang beton} &= b_{tr} \times t_s \\ \text{Komposit } (A_{tr}) &= 18,388 \times 12 = 220,654 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas pada penampang T balok sarang tawon

| Elemen   | Luas Penampang<br>$A(\text{cm}^2)$ | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | $Ay (\text{cm}^3)$ | $I_o (\text{cm}^4)$ |
|----------|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Pelat    | 220,654                            | 30,000                                     | 6619,618           | 2647,85             |
| 600.200  | 67,68                              | 42,000                                     | 2842,56            | 55683,60            |
| $\Sigma$ | 288,334                            |  | 9462,178           | 58331,45            |

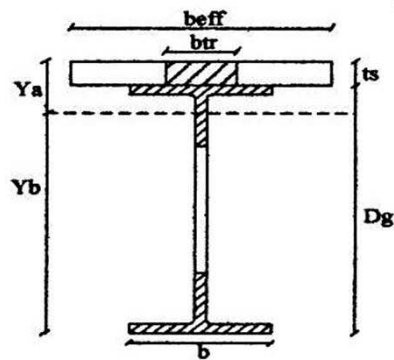
$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{9462,18}{288,334} = 32,817 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 60 + 12 - 32,817 \\ &= 39,183 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 32,817 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 26,817 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 42 - 32,817 = 9,183 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_g &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ &= 2647,85 + \left[ 220,654 \times 26,8167 \right]^2 + 55684 + \\ &\quad \left[ 67,680 \times 9,183 \right]^2 \\ &= 222719,5 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

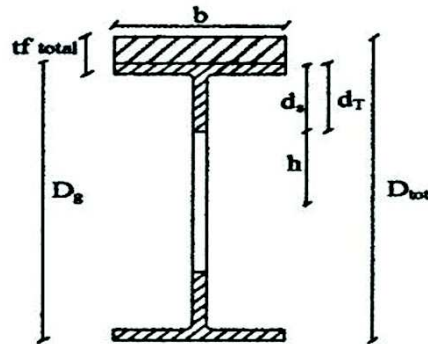


Gambar 4.5 Penampang Melintang Balok Komposit

❖ Pelat beton ditransformasikan menjadi baja

$$\begin{aligned} t_{f_{total}} &= \frac{b_{tr} \cdot t_s}{b} + t_f = \frac{18,388 \times 12}{20} + 1,3 \\ &= 12,333 \text{ cm} \end{aligned}$$

H. Menentukan ukuran dimensi balok Sarang Tawon :



Luas Penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 A_{Tatas} &= A_{fatas} + A_s \quad (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_{f\text{total}} + d_s \cdot t_w = [20 \times 12,333] + [8,5 \times 0,8] \\
 &= 246,654 + 6,760 = 253,414 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{Tbawah} &= A_{fbawah} + A_s \quad (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w = [20 \times 1,3] + [8,5 \times 0,8] \\
 &= 26,000 + 6,760 = 32,760 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

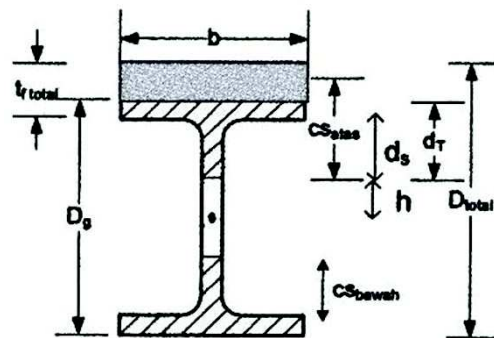
Modulus Kelembaman penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 S_{Tatas} &= A_{fatas} \left[ d_s + \frac{t_{f\text{total}}}{2} \right] + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 246,654 \times 8,5 + \frac{12,3327}{2} + \left[ 6,760 \times \frac{8,5}{2} \right] \\
 &= 3633,741 \text{ cm}^3 \\
 S_{Tbawah} &= A_{fbawah} \left[ d_s + \frac{t_f}{2} \right] + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 26,000 \times 8,5 + \frac{1,3}{2} + \left[ 6,760 \times \frac{8,5}{2} \right] \\
 &= 265,161 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus inersia penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 I_{T \text{ atas}} &= A_{f \text{ atas}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_{f \text{ total}} + \frac{t_{f \text{ total}}^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 246,65 \times \left( 8,45^2 + 8,45 \times 12,333 + \frac{12,333^2}{3} \right) + \\
 &\quad 6,760 \times \frac{8,45^2}{3} \\
 &= 55981,707 \text{ cm}^4 \\
 I_{T \text{ bawah}} &= A_{f \text{ bawah}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 26,00 \times \left( 8,45^2 + 8,5 \times 1,3 + \frac{1,300^2}{3} \right) + \\
 &\quad 8,450 \times \frac{8,45^2}{3} \\
 &= 2343,192 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat :



Gambar 4.6 dimensi penampang komposit melintang

Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 CS_{\text{ atas}} &= \frac{S_{\text{Tatas}}}{A_{\text{Tatas}}} = \frac{3633,741}{253,414} = 14,339 \text{ cm} \\
 CS_{\text{ bawah}} &= \frac{S_{\text{tbawah}}}{A_{\text{tbawah}}} = \frac{265,161}{32,760} = 8,094 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

❖ Modulus tahanan plastis tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} Z_{atas} &= \left[ A_{f atas} \left( C_{S atas} - \frac{t_{ftotal}}{2} \right) \right] + \left[ A_s \cdot \left( C_{S atas} - \frac{d_s}{2} \right) \right] \\ &= \left[ 246,65 \left( 14,339 - \frac{12,3}{2} \right) \right] + \left[ 8,450 \left( 14,339 - \frac{8,45}{2} \right) \right] \\ &= 2101,319 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{bawah} &= \left[ A_{f bawah} \left( d_s + t_f \right) - C_{S bawah} - \frac{t_f}{2} \right] + \\ &\quad \left[ A_s \cdot \left( C_{S bawah} - \frac{d_s}{2} \right) \right] \\ &= \left[ 26,00 \left( 8,450 + 0,8 \right) - 8,094 - \frac{0,8}{2} \right] + \\ &\quad \left[ 8,45 \left( 8,094 - \frac{0,8}{2} \right) \right] \\ &= 297,021 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Inersia tangkai penampang T :

$$\begin{aligned} I_{tatas} &= I_{Tatas} - (C_{Satas} \cdot S_{Tatas}) \\ &= 55981,707 - \left[ 14,339 \times 3633,741 \right] \\ &= 3876,9419 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tbawah} &= I_{Tbawah} - (C_{Sbawah} \cdot S_{Tbawah}) \\ &= 2343,192 - \left[ 8,094 \times 265,161 \right] \\ &= 196,96628 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

❖ Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} SS_{atas} &= \frac{I_{tatas}}{C_{Satas}} = \frac{3876,942}{14,339} = 270,375 \text{ cm}^3 \\ SS_{bawah} &= \frac{I_{tbawah}}{C_{Sbawah}} = \frac{196,966}{8,094} = 24,335 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

❖ Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$\begin{aligned} d &= 2h' + C_{satas} + S_{sbawah} = 2 \cdot 20,3 + 14,339 + 24,335 \\ &= 79,174 \text{ cm} \end{aligned}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada penampang Komposit terhadap

serat atas pada penampang dinding penuh balok sarang tawon

| Elemen  | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat   | 220,654                               | 30,000                                     | 6619,618              | 2647,85                           |
| 600.200 | 100,12                                | 42,000                                     | 4205,04               | 55683,6                           |
| Σ       | 320,774                               |  | 10824,66              | 58331,45                          |

$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{10824,66}{320,774} = 33,745 \text{ cm}$$

$$y_b = d_g + t_s - y_a$$

$$= 60 + 12 - 33,745$$

$$= 38,255 \text{ cm}$$

$$y'' = y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s)$$

$$= 33,745 - (\frac{1}{2} \cdot 12)$$

$$= 27,745 \text{ cm}$$

$$y' = y - y_a = 42 - 33,745 = 8,255 \text{ cm}$$

$$I_{g'} = I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2$$

$$= 2647,85 + \left[ 220,654 \times 27,745^2 \right] + 55684 +$$

$$\left[ 100,120 \times 8,255^2 \right]$$

$$= 235014,9 \text{ cm}^4$$

Modulus penampang dinding penuh komposit :

❖ Modulus terhadap serat atas dari beton :

$$S_c = \frac{I_{g'}}{y_a} = \frac{235014,904}{33,745} = 6964,345 \text{ cm}^3$$

❖ Modulus terhadap serat bawah dari beton :

$$S_s = \frac{I_g'}{yb} = \frac{235014,904}{38,255} = 6143,448 \text{ cm}^3$$

I. Pemeriksaan kriteria penampang untuk penampang balok castela

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{20}{2 \times 1,3} = 7,69$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(tf + r)}{tw} = \frac{60 - 2(1,3 + 1,6)}{0,8} = 75,750$$

Penampang kompak (Tabel 7-5-1, Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \rightarrow 7,69 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \rightarrow 75,8 < 108,444$$

jadi penampang berbadan kompak, dan  $M_n$  dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastik (PS.8.2.3, Pustaka 4), dimana :

$$\phi M_n = \phi M_p$$

J. Pemeriksaan ketebalan pelat badan bagian T yang merupakan bagian

yang mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{h}{t_w} \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Ps.8.7.1, pustaka 4})$$

$$h = D_g - (2 \cdot t_f)$$

$$\frac{60 - (2 \cdot 1,3)}{0,8} \leq 6,36 \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^5}{240}}$$

$$71,75 \leq 188,13 \quad \text{maka tidak diperlukan pelat pegaku vertikal}$$

**K.** Pemeriksaan ketebalan pelat sayap bagian tumpuan yang mengalami pengaruh tekuk lateral

Dimisalkan tidak ada pengeang (pengaku ) lateral diantara tumpuan sehingga

$$L = 6 \text{ m} = 600 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 2,pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } r_y = \sqrt{\frac{I_{g'}}{A}} = \sqrt{\frac{235014,9}{320,774}} = 27,068 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \times 27,068 \times \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^5}{2400}} = 1375,2 \text{ cm}$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} \quad (\text{Hal 2,pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJ A}{2}}$$

$$x_2 = 4 \left[ \frac{S_x}{GJ} \right]^2 \frac{I_w}{I_g}$$

$$J \approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w)$$

$$I_w = I_g \frac{h^2}{4}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa} \approx 80.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2,0 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$fL = 0,7 \cdot f_y = 0,7 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka } J \approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w) = \frac{1}{3} \left[ 60 \times 1,3^3 + 2 \times 20 \times 0,8 \right]$$



$$= 54,607 \text{ cm}^4$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{6964,3} \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 54,607 \cdot 321}{2}}$$

$$= 53372,399 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{I_g \cdot h^2}{4 \cdot I_g} = 4 \left( \frac{6964,3}{8 \cdot 10^5 \cdot 54,607} \right)^2 \frac{60^2}{4}$$

$$= 0,915 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^4/\text{kg}^2$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} = \frac{53372,399 \cdot 27,068}{1680}$$

$$\sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,9 \cdot 10^{-5} \cdot (1680)^2}}$$

$$= 4535,856 \text{ cm}$$

Karena  $L = 600 \text{ cm} < L_p = 1375,2137 \text{ cm}$  maka termasuk

bentang pendek sehingga pengekang (pengaku) lateral tidak diperlukan

serta kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur  $M_n = M_p$

**L. Pemeriksaan tegangan yang terjadi dengan persamaan distribusi, dimana**

momen lentur perlu ( $M_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat sayap dan kuat

geser perlu ( $V_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat badan (Ps 8.9.2,

pustaka 4). Dan momen lentur nominal pelat sayap ( $M_n$ ) dan kuat geser

nominal pelat badan ( $V_n$ ) harus memenuhi :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

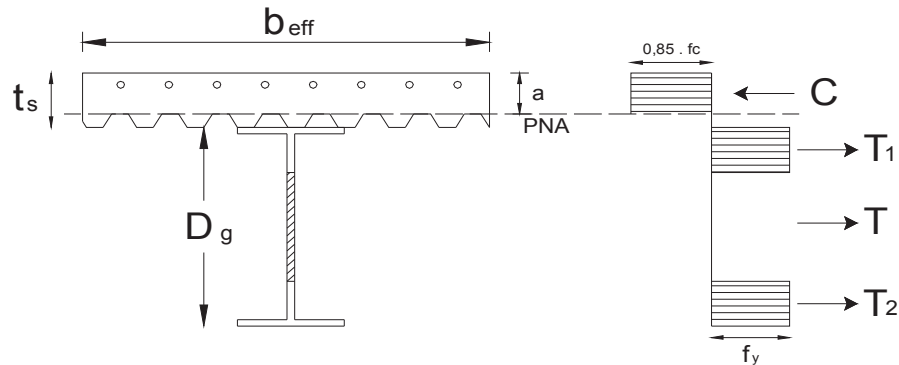
$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

Dimana :  $M_u \text{ tumpuan} = 16241,460 \text{ kgm}$

$M_u \text{ lapangan} = 20773,870 \text{ kgm}$

$$V_u = 17095,000 \text{ kgm}$$

#### ❖ Kapasitas Momen Positif Penampang



Gambar 4.7 Garis netral penampang jatuh dalam pelat

Apabila gaya tekan C disamakan dengan gaya tarik akan diperoleh :

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff}} = \frac{67,680 \times 2400}{0,85 \times 300 \times 200}$$

$$= 3,185 \text{ cm} < t_s = 12 \text{ cm}$$

Jadi, garis netral berada di dalam pelat beton

Gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_{eff} = 0,85 \times 300 \times 3,185 \times 200$$

$$= 162432 \text{ kg}$$

Gaya tarik T adalah :

$$T_1 = T_2 = A_{S1} \cdot f_y = A_{S2} \cdot f_y = \{(b_f \cdot t_f) + (d_w \cdot t_w)\} \cdot f_y$$

$$= \{(20 \times 1,3) + (8,5 \times 0,8)\} \times 2400$$

$$= 78624 \text{ kg}$$

Mencari titik tengah antara  $T_1$  dan  $T_2$  sejauh  $x$  dari titik A. Apabila momen diambil terhadap titik A, dengan pemisahan jarak  $R_{(T1+T2)}$  terhadap A =  $x$

$$R_{(T1+T2)} = T_1 + T_2 = 78624 + 78624 = 157248 \text{ kg}$$

$$R_{(T1+T2)} \cdot x = (T_1 \cdot 4,65) + (T_2 \cdot 61,31)$$

$$157248 \cdot x = (78624 \times 4,65) + (78624 \times 61,31)$$

$$x = 32,980 \text{ cm}$$

Jadi, besarnya  $R_{(T1+T2)} = 157248 \text{ kg}$  dan letaknya adalah 32,980 cm dari titik A

$$\text{Panjang lengan } d_1 = x + \left( t_s - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 32,980 + \left( 12 - \frac{3,18}{2} \right) = 43,388 \text{ cm}$$

Kekuatan momen nominal  $M_n$  adalah :

$$\begin{aligned} M_{n1} &= C \cdot d_1 = 162432 \times 43,388 \\ &= 7047523,177 \text{ kgcm} = 70475,232 \text{ kgm} \end{aligned}$$

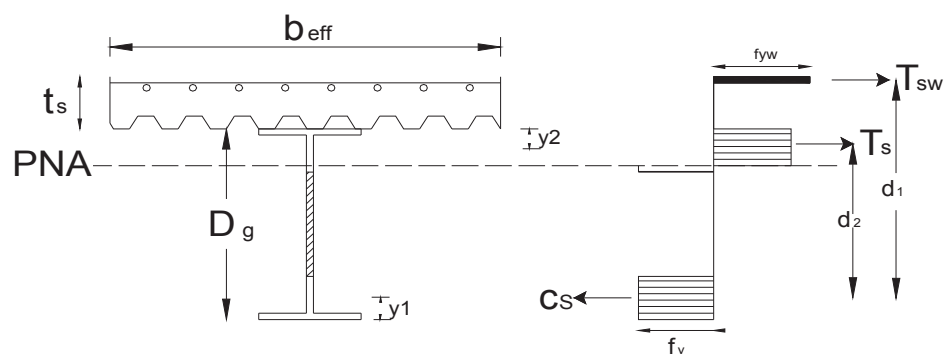
$$\begin{aligned} M_{n2} &= T \cdot d_1 = 157248 \times 43,388 \\ &= 6822602,225 \text{ kgcm} = 68226,022 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Maka diambil nilai terkecil yaitu  $M_t = 68226,022 \text{ kgm}$

$$\phi \cdot M_n = 0,85 \times 68226,022$$

$$= 57992,119 \text{ kgm} > M_u = 20773,870 \text{ kgm} \dots \text{OK}$$

#### ❖ Kapasitas Momen Negative Penampang



Gambar 4.8 Garis netral penampang jatuh pada badan profil

Batang tulangan wiremesh meambah kekuatan tarik nominal  $T_{sw}$  :

Digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 100$

$$T_{sw} = \left( \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times f_{yw}$$

$$\begin{aligned} T_{sw} &= \left( \frac{1000}{100} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \right) \times 4910 \\ &= 24690,286 \text{ kg} \end{aligned}$$

Steel Deck menambah kekuatan tarik nominal  $T_{sd}$  :

$$\begin{aligned} T_{sd} &= 0,75 \times 1000 \times 1000 \times 550 \\ &= 412500000 \text{ N} = 41250 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dimisalkan gaya tekan nominal maksimum dalam penampang profil balok :

$$C_{maks} = A_s \cdot F_y$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_s &= \{ (D_g - 2t_f) \cdot t_w \} + \{ 2 \cdot b_f \cdot t_f \} \\ &= \{ (60 - 2 \cdot 1,3) \cdot 0,8 \} + \{ 2 \cdot 20 \cdot 1,3 \} \\ &= 97,920 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$C_{maks} = A_s \cdot f_y = 97,920 \times 2400 = 235008 \text{ kg}$$

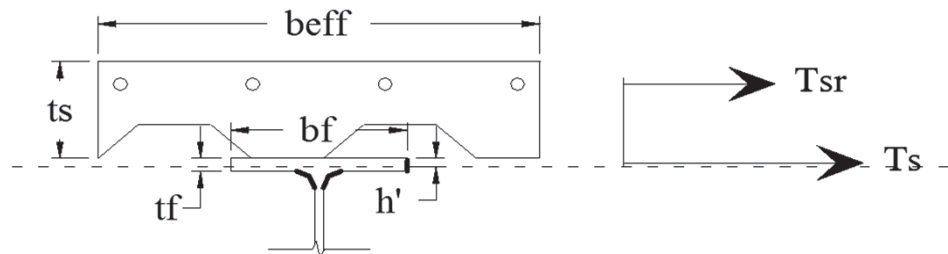
Karena  $C_{maks}$  lebih besar dari  $T_{sw}$ , maka PNA terletak di dalam penampang

baja balok sarang tawon. Dimana persyaratan keseimbangan gaya dapat

dinyatakan :

$$\begin{aligned} T_{sw} + T_s + T_{sd} &= C_{maks} - T_s \\ 2 \cdot T_s &= C_{maks} - T_{sw} \\ 2 \cdot T_s &= 235008 - 24690 \\ T_s &= 105158,86 \text{ kg} \end{aligned}$$

Misalkan PNA berada di dalam badan penampang profil balok, maka dari tepi bawah flens baja ke garis netral adalah :



$$A = (b_f \cdot t_f) + (h_1 \cdot t_w)$$

$$h_1 = \frac{A - (b_f \cdot t_f)}{t_w}$$

dimana :

$$A = \frac{T_s}{f_y} = \frac{105158,8571}{2400} = 43,816 \text{ cm}^2$$

$$h_1 = \frac{43,816 - (20 \times 1,3)}{0,8} = 22,270 \text{ cm}$$

Sehingga garis netral (GN) dari serat atas pelat beton adalah :

$$\begin{aligned} y &= h_1 + t_f + t_s \\ &= 60 + 1,3 + 12 = 73,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y1 dari gaya tekan Cs didalam penampang baja diukur dari dasar dasar penampang baja

| Elemen             | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm | A . Y<br>cm <sup>3</sup> |
|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| Profil WF          | 97,920                      | d/2 = 30         | 2937,6                   |
| Flens = -(tf x bf) | -26                         | ya = 59,35       | -1543,1                  |
| Badan = -(h' x tw) | -17,8                       | yb = 57,59       | -1025,97                 |
| TOTAL              | 54,1                        |                  | 368,5282                 |

$$Y1 = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{368,52816}{54,1} = 6,8115011 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= T_{sw} \cdot d_1 \\ &= 24690,28571 \times (h - y1 + ts - 25) \\ &= 24690,28571 \times (60 - 6,81 + 12 - 25) \\ &= 992265,5197 \text{ kgcm} = 9922,655197 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y2 dari gaya tekan Ts diukur dari sisi atas flens atas profil Wf

| Elemen                 | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm | A . Y<br>cm <sup>3</sup> |
|------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| Profil WF              | 97,92                       | d/2 = 30         | 2937,6                   |
| Flens = -(tf x bf)     | -26                         | ya = 59,35       | -1543,1                  |
| Badan = -(d-h'-2tf)*tw | -44,1                       | yc = 31,11       | -1373,3                  |
| TOTAL                  | 27,8                        |                  | 21,19996                 |

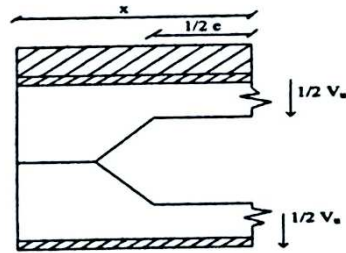
$$Y2 = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{21,199959}{27,8} = 0,763093 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= T_s \cdot d_2 \\ &= 105158,8571 \times (D_g - (y_1 + y_2)) \\ &= 105158,8571 \times (60 - (6,8115 + 0,7631)) \\ &= 5512995,768 \text{ kgcm} = 55129,95768 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ &= 9922,655197 + 55129,95768 \\ &= 65052,61288 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,85 \times 65052,61288 \\ &= 55294,721 \text{ kgm} > M_u = 16241,460 \text{ kgm} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

Kuat geser nominal yang bekerja pada penampang T:



Kuat geser nominal pada penampang T :

$$\begin{aligned}V_{nTatas} &= \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 2101,319 \times 2400}{10,125} \\ &= 1992361,480 \text{ kg} \\ V_{nTbawah} &= \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 297,021 \times 2400}{10,125} \\ &= 281619,584 \text{ kg}\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}V_n &= V_{nTatas} + V_{nTbawah} \\ &= 1992361,480 + 281619,584 = 2273981,064 \text{ kg} \\ V_u &\leq \phi \cdot V_n \\ 17095 \text{ kg} &\leq 0,85 \cdot 2273981,064 \\ 17095 \text{ kg} &\leq 1932883,904 \text{ kg} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

**M. Pemeriksaan tegangan yang terjadi dengan persamaan interaksi geser dan dan lentur, dimana momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang (Ps 8.9.3, Pustaka 4 ). Maka momen lentur terfaktor ( $M_u$ ) selain harus kurang dari atau sama dengan momen lentur penampang**

(Mn) dan kuat geser terfaktor (Vu) harus kurang dari atau sama dengan kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja (Vn), balok juga harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu :

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} + 0,625 \cdot \frac{V_u}{\phi \cdot V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{16241}{55294,721} + 0,625 \cdot \frac{17095}{1932883,904} \leq 1,375$$

$$0,299 \leq 1,375 \text{ ..... OK}$$

**N.** Pemeriksaan kuat geser nominal horizontal pelat badan terhadap kuat geser horizontal yang bekerja pada bagian utuh balok sarang tawon sepanjang garis netral :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

Dimana :

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 17095 \times \frac{43,74}{2 \times 79,174}$$

$$= 4722,110 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,6 \cdot t_w \cdot e \cdot f_y = 0,65 \times 0,8 \times 10,125 \times 2400$$

$$= 12636,000 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$4722,110 \text{ kg} \leq 0,85 \times 12636,000 \text{ kg}$$

$$4722,110 \text{ kg} \leq 10740,600 \text{ kg ..... OK}$$

**O.** Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada sisi miring



badan utuh karena bekerjanya gaya geser horizontal :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 17095 \times \frac{43,74}{2 \times 79,174}$$

$$= 4722,110 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,65 \times \frac{4 \cdot t_w \cdot e \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)}{3 \cdot \tan \phi} f_y$$

$$= 0,65 \times \frac{4 \times 0,8 \times 10,125 \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)}{3 \tan 45} 2400$$

$$= 21422,628 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$4722,110 \text{ kg} \leq 0,85 \times 21422,628 \text{ kg}$$

$$4722,110 \text{ kg} \leq 18209,234 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

**P.** Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada bagian badan

utuh balok Sarang Tawon karena adanya beban yang bekerja :

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (\text{hal 45, Pustaka 4})$$

Dimana :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

Dengan jarak antara pengaku vertikal ( $a$ ) direncanakan = 200 cm

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left( \frac{200}{60} \right)^2} = 5,450$$

maka :

$$\frac{60}{0,8} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5,450 \times 2,1 \times 10^5}{240}}$$

$$75,000 \leq 75,962 \quad \text{..... OK}$$

maka :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$\text{Dimana : } V_u = 17095 \text{ kg}$$

$$V_n = 0,65 \cdot (D_g - 2t_f) \cdot t_w \cdot f_y$$

$$= 0,65 \times (60 - 2 \times 1,3) \times 0,8 \times 2400$$

$$= 71635,2 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$17095,000 \text{ kg} \leq 0,85 \times 71635,200 \text{ kg}$$

$$17095,000 \text{ kg} \leq 60889,920 \text{ kg} \quad \text{..... OK}$$

**Q.** Perencanaan pengaku vertikal untuk menahan gaya tekuk lokal pelat

$$\text{badan Direncana] = 200 cm}$$

$$\text{Apabila } \frac{1100}{\sqrt{f_y}} \leq \frac{h}{t_w} \leq \frac{1400}{\sqrt{f_y}} \text{ maka } c_v = \frac{1100}{\frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{f_y}} \quad (\text{Ps 11.11.2, Pustaka 9})$$

$$= \frac{1100}{\sqrt{240}} \leq \frac{60}{0,8} \leq \frac{1400}{\sqrt{240}}$$

$$= 71,005 \leq 75 \leq 90,37$$

$$\text{Maka } C_v = \frac{1100}{\frac{60}{0,8} \sqrt{240}} = 0,947$$

$$A_{s \text{ pengaku}} \leq 0,5 D A_w (1 - C_v) \left\{ \left( \frac{a}{h} \right) - \frac{\left( \frac{a}{h} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{a}{h} \right)^2}} \right\} \quad (\text{Hal 52, Pustaka 9})$$

Dimana  $D = 1$  untuk sepasang pengaku

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 0,51 \times 1 \times 60 - (2 \times 1,3) \times (1 - 0,947)$$

$$\left\{ \left( \frac{200}{60} \right) - \frac{\left( \frac{200}{60} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{200}{60} \right)^2}} \right\}$$

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 4,2918 \text{ cm}^2$$

Dicoba  $t_s = 1 \text{ cm}$  dan  $h = 60$

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 2 \times (1 \times 60) = 120 \text{ cm}^2 \geq 4,3 \text{ cm}^2 \dots \text{OK}$$

Pengecekan kekakuan minimum untuk pengaku vertikal :

$$\text{Untuk } \left( \frac{a}{h} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s \geq \frac{1,5 \cdot h^3 \cdot t_w^3}{a^2} \quad (\text{Hal 52, Pustaka 4})$$

$$\left( \frac{200}{60} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s = \frac{1}{12} \times 60 \times 1^3 \geq \frac{1,5 \times 60^3 \times 0,8^3}{200^2}$$

$$3,333333 \geq 1,4142 \text{ maka } 5,000 \text{ cm}^4 \geq 4,147 \text{ cm}^4 \dots \text{OK}$$

Persyaratan profil dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang :

$$\text{Apabila } 1 \leq a/h \leq 3 \text{ maka } (h/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 43, Pustaka 4})$$

$$1 \leq \frac{200}{60} \leq \text{ maka } \left( \frac{60}{0,8} \right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{2,0 \cdot 10^5}{240}}$$

$$1 \leq 3,3333 \leq \text{ maka } 75 \leq 209,13342 \dots \text{OK}$$

**R. Perhitungan *shear connector***

Digunakan shear connector stud baja berkepala dengan diameter

Diameter maksimum stud yang diijikan :

$$\begin{aligned} 2,5 t_f &= 2,5 \times 13 \\ &= 32,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan stud dengan diameter :  $\frac{5}{8} \text{ in} = 15,875 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas stud (A}_{sa}\text{)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,88^2 \\ &= 197,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal satu buah stud ( $Q_n$ ) :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sa} \times \sqrt{f_c \times E_c} \leq A_{sa} \times f_u \\ &= 0,5 \times 197,83 \times \sqrt{30 \times 25743} \leq 197,8 \times 410 \\ &= 86927,462 \text{ N} > 81111,229 \text{ N} \text{ maka dipakai :} \end{aligned}$$

$$Q_n = 81111,23 \text{ N}$$

Gaya geser maksimum pada daerah momen positif adalah yang terkecil dari :

- Kehancuran beton

$$\begin{aligned} V_h &= 0,85 \times f_c \times b_{eff} \times t_s \\ &= 0,85 \times 30 \times 2000 \times 120 \\ &= 6120000 \text{ N} \end{aligned}$$

- Leleh tarik dari penampang baja

$$\begin{aligned} V_h &= f_y \times A_s \\ &= 240 \times 9680 \\ &= 2323200 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $V_h = 2323200 \text{ N}$

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{2323200}{81111,23} = 28,64215 \approx 30 \text{ buah}$$

Maka, digunakan stud dengan jumlah : 30 buah pada 1/2 bentang  
dan sejumlah 60 buah stud sepanjang bentang balok.

Pendetailan jarak stud menurut SNI 1729 : 2015 pasal I8 (3e) yakni :

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 4 \ d \\ &= 4 \times 15,875 \\ &= 63,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 32 \times d \\ &= 32 \times 15,875 \\ &= 508 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika  $b_f = 200 \text{ mm}$ , maka

$$n = \frac{b_f}{S_{\min}} = \frac{200}{63,5} = 3,1496 \approx 2 \text{ buah}$$

dengan  $n$  adalah jumlah stud pada penampang melintang balok.

Dengan demikian digunakan 2 stud dalam 1 baris melintang balok  
dan terdapat 30 baris stud sepanjang bentang balok

$$\text{Panjang bentang (L)} = 6000 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar stud (S)} = \frac{6000}{30} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Maka digunakan } S = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 200 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

Jarak stud dlm 1 baris melintang ( $S_a$ ) yakni :

$$S_a = \frac{b_f}{n} = \frac{200}{2} = 100 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 100 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

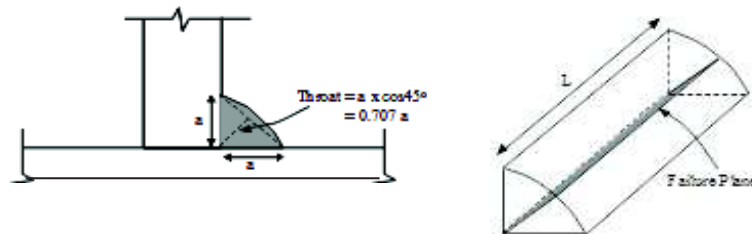
*Perhitungan las fillet pada penghubung geser :*

Tebal las rencana (a), disyaratkan sebagai berikut :

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J2b tabel J2.4, tebal las minimum ( $a_{\min}$ ) pada bagian yang disambung dengan ketebalan paling tipis (t) : 13 mm yang mana  $6 \text{ mm} < t = 13 > 13 \text{ mm}$ , yakni 5 mm

Tebal las maksimum yang disyaratkan dalam SNI 1729 : 2015 pasal J2.2b(b) untuk material dengan tebal paling tipis (t) = 13 mm, yakni

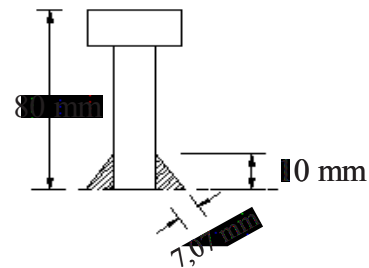
$$a_{\max} = t - 2 = 11 \text{ mm} \text{ Maka tebal las rencana (a) = 10 mm}$$



Dicoba las fillet  $\frac{1}{2}$  in, electrode = 80 Ksi, tebal efektif las :

$$\text{tebal efektif (t}_e\text{)} = a \times \cos 45^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Throat} &= 10 \times \cos 45 \\ &= 7,0711 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$F_{\text{EXX}} = 80 \times 6,895 = 551,6 \text{ MPa}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\begin{aligned} \phi R_{\text{nw}} &= 0,75 \times t_e \times (0,6 \times F_{\text{EXX}}) \\ &= 0,75 \times 7,0711 \times (0,6 \times 551,6) \\ &= 1755,1805 \text{ N/mm panjang las} \end{aligned}$$

Panjang keliling konektor (K) :

$$\begin{aligned} K &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 15,875 \\ &= 49,8475 \text{ mm} \end{aligned}$$

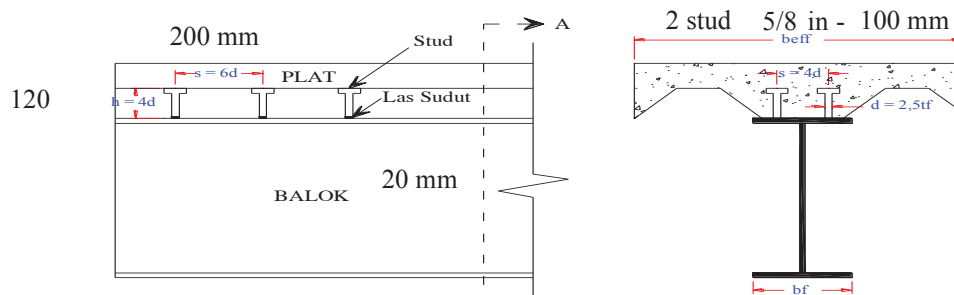
Las sekeliling konektor

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} = \frac{Q_n}{K} = \frac{81111,23}{49,8475} = 1627,1875 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} < \phi R_{nw}$$

$$1627,1875 \text{ N} < 1755,180452 \text{ N}$$



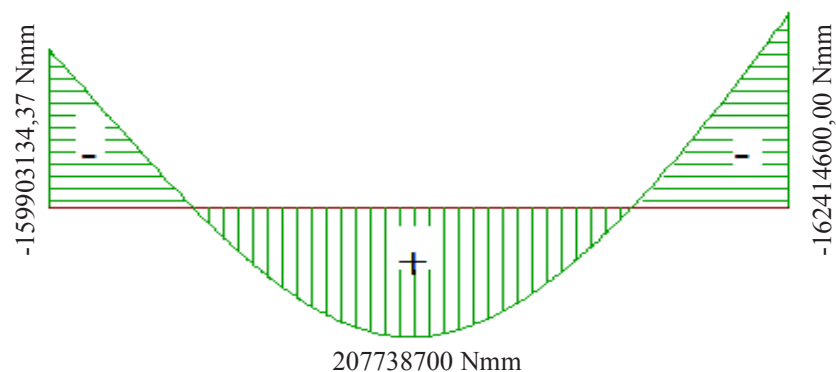
Gambar 4.9 Letak stud pada penampang profil

#### S. Kontrol lendutan

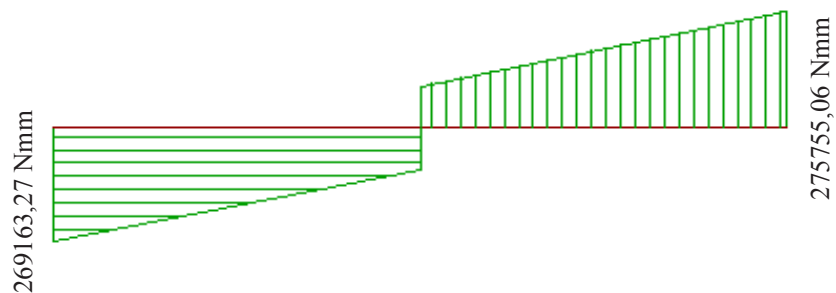
Lendutan yang diijinkan

$$\Delta = \frac{1}{360} L = \frac{1}{360} \times 6000 = 16,67 \text{ mm}$$

Besar lendutan yang terjadi (dihitung menggunakan metode momen area) sebagai berikut :



Gambar 4.10 Bidang momen B115 akibat kombinasi beban 2



Gambar 4.11 Gaya geser B115 akibat kombinasi beban 2

Pembebanan pada balok B115

$$q_d = 17,471 \text{ N/mm} \quad P_d = 140250,71 \text{ N}$$

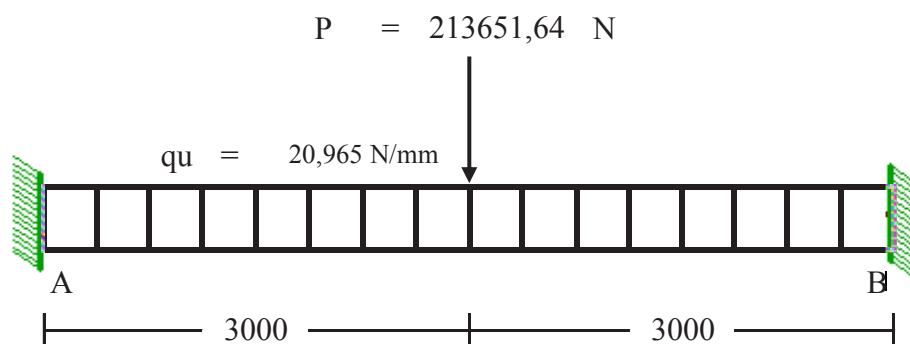
$$q_l = 0,000 \text{ N/mm} \quad P_l = 28344,24 \text{ N}$$

Beban merata terfaktor ( $q_u$ ) :

$$\begin{aligned} 1,2 D + 1,6 L &= 1,2 \times 17,5 + 1,6 \times 0 \\ &= 20,97 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Beban terpusat terfaktor ( $P_u$ ) :

$$\begin{aligned} 1,2 D + 1,6 L &= 1,2 \times 140250,71 + 1,6 \times 28344,24 \\ &= 213651,64 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Beban merata B115 akibat beban terfaktor

Menentukan jarak bidang momen (dari A ke  $M_{max}$  positif)

$$\text{Dimana } x \leq 3000 \text{ mm}$$

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$



$$2,08\text{E}+08 = 269163,27 x - \frac{1}{2} \cdot 20,965 x^2 + -159903134,4$$

$$0 = -10,48 x^2 + 269163,27 x - 3,68\text{E}+08$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{269163^2 - 4x -10,48 x -367641834,4}}{2x -10,4826}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{57033496745,23}}{-20,97}$$

$$x_a = \frac{-269163,3 + 238816,8686}{-20,9652}$$

$$= 1797,000 \text{ mm} \leq 3000 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$x_b = \frac{-269163,3 - 238816,8686}{-20,9652}$$

$$= 24579,682 \text{ mm} > 6000 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } L_1 = 1797,000 \text{ mm}$$

Menentukan jarak bidang momen (dari B ke momen nol)

$$\text{Dimana } x < 3000 \text{ mm}$$

$$M_0 = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$0 = 269163,27 x - \frac{1}{2} \cdot 20,965 x^2 + -159903134,4$$

$$0 = -10,48 x^2 + 269163,27 x - 159903134,4$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{269163^2 - 4x -10,48 x -159903134,4}}{2x -10,4826}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{65744063531,71}}{-20,97}$$

$$x_a = \frac{-269163,3 + 256406,0521}{-20,9652}$$

$$= 958,495 \text{ mm} < 3000 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$x_b = \frac{-269163,3 - 256406,0521}{-20,9652}$$

$$= 25418,653 \text{ mm} > 3000 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } X_1 = 958,495 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= L_1 - X_1 \\ &= 1797,000 - 958,495 \\ &= 838,505 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= L - L_1 \\ &= 6000,000 - 1797,000 \\ &= 4203,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menentukan jarak bidang momen (dari B ke momen nol)

Dimana  $x < 3000 \text{ mm}$

$$M_0 = -R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - M_b$$

$$0 = -275755,1 \cdot x + \frac{1}{2} \cdot 20,965 \cdot x^2 - -162414600$$

$$0 = 10,483 \cdot x^2 + -275755,1 \cdot x - 162414600$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{a,b} = \frac{275755,06 \pm \sqrt{-2,76E+05 \cdot 4 \times 10,48 \times 162414600}}{2 \times 10,4826}$$

$$x_{a,b} = \frac{275755,06 \pm \sqrt{69230743971,76}}{20,965}$$

$$x_a = \frac{275755,06 + 263117,3578}{20,9652}$$

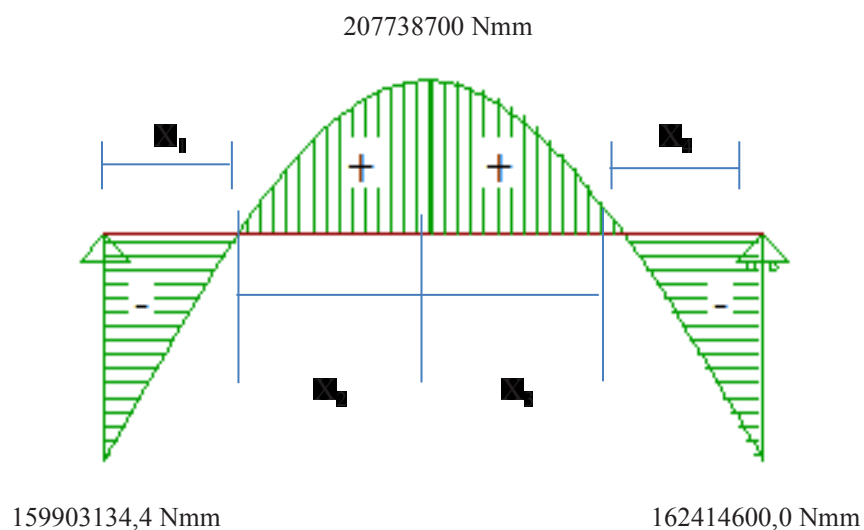
$$= 26053,185 \text{ mm} > 3000 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$x_b = \frac{275755,06 - 263117,3578}{20,9652}$$

$$= 952,794 \text{ mm} < 3000 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

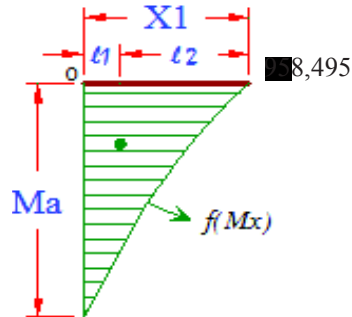
$$\text{Maka } X_4 = 952,794 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_3 &= L_2 - X_4 \\ &= 4203,000 - 952,794 \\ &= 3250,206 \text{ mm} \end{aligned}$$



*Gambar 4.13 Bidang momen B115*

1) Menentukan Gaya A1 dan titik berat terhadap A1



Gambar 4.14 Bidang momen untuk mencari gaya A1

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$A_1 = \int f(MX) dx$$

$$= \int_{958,49}^{0,0} \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right) dx$$

$$= \frac{1}{2} R_a x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_a \cdot x \Big|_{958,495}^0$$

$$= 32701436126,37 \text{ Nmm}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_1 \ell_1 = \int x (MX)$$

$$A_1 \ell_1 = \int x (MX)$$

$$A_1 \ell_1 = \int_{958,49}^{0,0} x \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right)$$

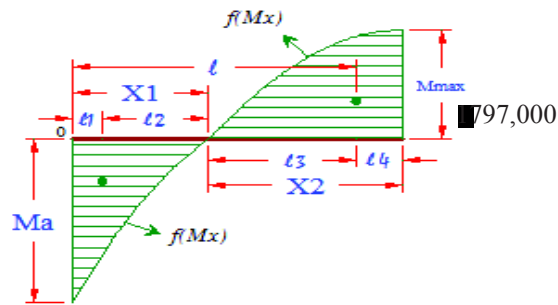
$$A_1 \ell_1 = \int_{958,49}^{0,0} \left( R_a \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_a x \right)$$

$$32701436126,37 \ell_1 = -3342293513146,75$$

$$\ell_1 = -102,2063 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_2 &= X_1 - \ell_1 \\
 &= 958,495 - -102,2063 \\
 &= 1060,701 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2) Menentukan Gaya A2 dan titik berat terhadap A2



Gambar 4.15 Bidang momen untuk mencari gaya A2

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$A_2 = \int Mx$$

$$= \int_{958,49}^{1797,0} R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} R_a x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_a \cdot x \Big|_{958,495}^{1797,0} \\
 &= 159671277388,42 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_2 \cdot \ell = \int x (MX)$$

$$A_2 \cdot \ell = \int x (MX)$$

$$A_2 \cdot \ell = \int_{958,49}^{1797,0} x \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right)$$

$$A_2 \cdot \ell = \int_{958,49}^{1797,0} \left( R_a \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_a x \right)$$

$$159671277388,42 \quad \ell = 231791284216969,00$$

$$= 1451,678 \text{ mm}$$

$$\ell_3 = \ell - X_1$$

$$= 1451,678 - 958,495$$

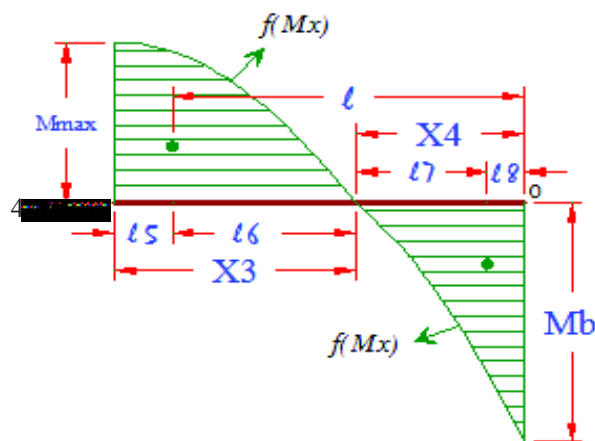
$$= 493,183 \text{ mm}$$

$$\ell_4 = X_2 - \ell_3$$

$$= 838,505 - 493,183$$

$$= 345,322 \text{ mm}$$

3) Menentukan Gaya A3 dan titik berat terhadap A3



Gambar 4.16 Bidang momen untuk mencari gaya A3

$$M_x = - R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - M_b$$

$$A_3 = \int f(MX) dx$$

$$= \int_{4203,00}^{952,8} - R_b \cdot x + \frac{1}{2} q x^2 - M_b$$

$$= \left. \frac{-1}{2} R_b x^2 + \frac{1}{6} q x^3 - M_b \cdot x \right|_{4203}^{952,8}$$

$$= 1526175894256,70 \text{ Nmm}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_3 \ell = \int x (MX)$$

$$A_3 \ell = \int x (MX)$$

$$A_3 \ell = \int_{4203,00}^{952,8} x \left( - R_b \cdot x + \frac{1}{2} qx^2 - M_b \right)$$

$$A_3 \ell = \int_{4203,00}^{952,8} \left( - R_b \cdot x^2 + \frac{1}{2} qx^3 - M_b x \right)$$

$$1526175894256,70 \ell = 4568682574070690,00$$

$$= 2993,5492 \text{ mm}$$

$$\ell_6 = \ell - X_4$$

$$= 2993,549 - 952,794$$

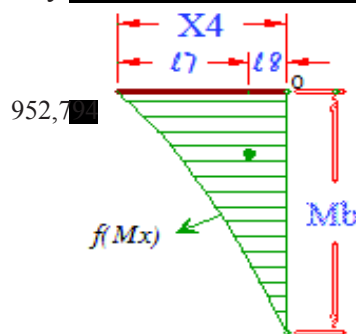
$$= 2040,755 \text{ mm}$$

$$\ell_5 = X_3 - \ell_6$$

$$= 3250,206 - 2040,755$$

$$= 1209,451 \text{ mm}$$

4) Menentukan Gaya A4 dan titik berat terhadap A4



Gambar 4.17 Bidang momen untuk mencari gaya A4

$$M_x = - R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - M_b$$

$$A4 = \int f(MX) dx$$

$$\begin{aligned}
&= \int_{0,00}^{952,8} -Rb \cdot x + \frac{1}{2}qx^2 - Mb \\
&= \left. \frac{-1}{2} Rb \cdot x^2 + \frac{1}{6} qx^3 - Mb \cdot x \right|_{0,00}^{952,8} \\
&= 32602499331,56 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_4 \cdot \ell_8 = \int x (MX)$$

$$A_4 \cdot \ell_8 = \int x (MX)$$

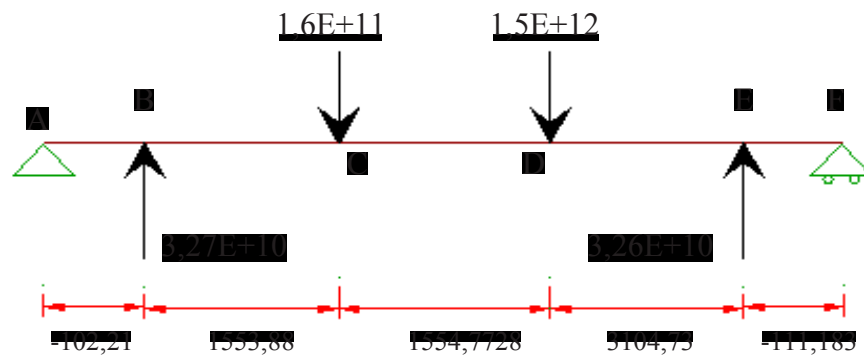
$$A_4 \cdot \ell_8 = \int_{0,00}^{952,8} x \left( -Rb \cdot x - \frac{1}{2}qx^2 - Mb \right)$$

$$A_4 \cdot \ell_8 = \int_{0,00}^{952,8} \left( -Rb \cdot x^2 - \frac{1}{2}qx^3 - Mb \cdot x \right)$$

$$\begin{aligned}
32602499331,56 \cdot \ell_8 &= -3624830300170,16 \\
&= -111,1826 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\ell_7 &= X_4 - \ell_8 \\
&= 952,794 - -111,183 \\
&= 1063,977 \text{ mm}
\end{aligned}$$





Gambar 4.18 Pembebanan akibat momen

Mencari reaksi :

$$\sum M_f = 0$$

$$0 = R_a \times 6000,0 + A_1 \times 6102,2 - A_2 \times 4548,3 - A_3 \times 2993,5492 + A_4 \times -111,183$$

$$0 = R_a \times 6000,0 + 3,27E+10 \times 6102,2 - 1,60E+11 \times 4548,3 - 1,53E+12 \times 2993,5 + 3,26E+10 \times -111,2$$

$$0 = 6000 R_a + -5098992874213030$$

$$R_a = 849832145702,17 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$0 = R_b \times 6000,0 + A_4 \times 6111,2 - A_3 \times 3006,5 - A_2 \times 1451,6780 + A_1 \times -102,206$$

$$0 = R_b \times 6000,0 + 3,26E+10 \times 6111,2 - 1,53E+12 \times 3006,5 - 1,60E+11 \times 1451,7 + 3,27E+10 \times -102,2$$

$$0 = 6000 R_b + -4624266542910140$$

$$R_b = 770711090485,02 \text{ N}$$

Menghitung momen maksimal :

$$M_a = 0 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_b &= R_a \times -102,2 \\ &= 849832145702,17 \times -102,2 \\ &= -86858217995910,80 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

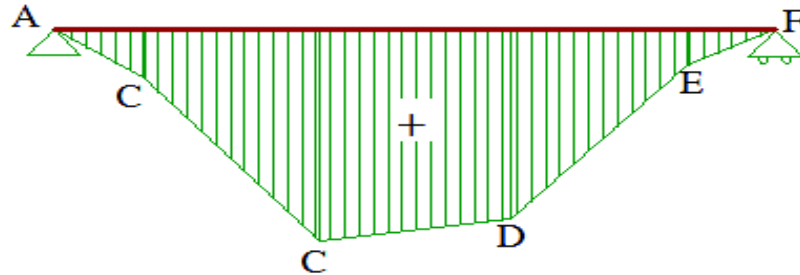
$$\begin{aligned} M_c &= R_a \times 1451,7 + A1 \times 1553,9 \\ &= 8,50E+11 \times 1451,7 + 3,27E+10 \times 1553,9 \\ &= 1284496898414390,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_d &= R_a \times 3006,5 + A1 \times 3108,7 - A2 \times 1554,7728 \\ &= 8,50E+11 \times 3006,5 + 3,27E+10 \times 3108,7 - \\ &\quad 1,60E+11 \times 1554,77 \\ &= 2408383556421070,00 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= R_a \times 6111,2 + A1 \times 6213,4 - A2 \times 4659,5 \\ &\quad - A3 \times 3104,7318 \\ &= 8,50E+11 \times 6111,2 + 3,27E+10 \times 6213,4 - \\ &\quad 1,60E+11 \times 4659,5 - 1,53E+12 \times 3104,7 \\ &= -85689654803953,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_f &= R_a \times 6000,0 + A1 \times 6102,2 - A2 \times 4548,3 \\ &\quad - A3 \times 2993,5492 + A4 \times -111,183 \\ &= 8,498E+11 \times 6000,0 + 3,27E+10 \times 6102,2 - \\ &\quad 1,597E+11 \times 4548,3 - 1,526E+12 \times 2993,5 + \\ &\quad 3,26E+10 \times -111,1826 \\ &= -1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Bidang momen digambarkan sebagai berikut :



$$M_x = 2,41E+15 \text{ Nmm}$$

Gambar 4.19 Bidang Momen Kondisi Baru

$$\begin{aligned} E_k &= \left\{ E_s \times \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) + E_c \left( \frac{A_c}{A_s + A_c} \right) \right\} / 2 \\ &= \left\{ 23500 \times \left( \frac{9680,00}{9680 + 240000} \right) + 200000 \times \left( \frac{240000,00}{9680 + 240000} \right) \right\} / 2 \\ &= 96578,58 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, lendutan dihitung sebagai berikut :

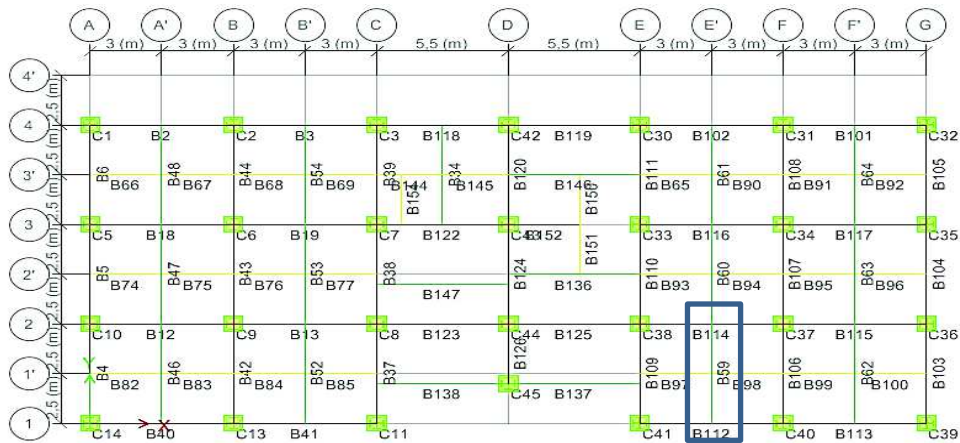
$$\begin{aligned} \Delta_i &= \frac{M_x}{E \quad I} \\ &= \frac{2408383556421070,00}{96578,58 \times 953994541,7} \\ &= 12,622628 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka :

$$\Delta = 16,667 \text{ mm} > \Delta_i = 12,623 \text{ mm}$$

## 4.2 Perencanaan Balok Anak Line E'

### Data perhitungan (beam 59)



*Gambar 4.20 Denah lantai 2 (balok yang ditinjau)*

$$M_u \text{ Tumpuan} = 21307 \text{ kgm} = 213073800 \text{ Nmm}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = 18658 \text{ kgm} = 186580000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 17139 \text{ kg}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

**A. Menentukan modulus plastis tampang yg diperlukan balok**

sarang rawon (Zg) untuk momen lentur maksimum

$$Z_{g\text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$Z_{g \text{ perlu}} = \frac{2130738000}{0,9 \times 2400} = 986452,78 \text{ cm}^3$$

**B. Perbandingan tinggi balok sarang tawon dengan tinggi profil baja**

baja sesungguhnya. Diasumsikan kenaikan tinggi balok mencapai

1,5 kali dari tinggi balok asli.

$$K' = \frac{d_g}{d_b} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{Z_{gperlu}}{Z_b}$$

$$Z_b = \frac{Z_{gperlu}}{1,5} = \frac{986453}{1,5} = 657635,19 \text{ cm}^3$$

Digunakan profil castelated beam WF 450.1500 komposit dengan spesifikasi ebagai berikut:

Dari tabel baja diperoleh :

$$d : 450,0 \text{ mm} \quad w : 36,70 \text{ Kg/m}$$

$$b_f : 150,0 \text{ mm} \quad I_x : 16895,1 \text{ cm}^4$$

$$t_w : 6,5 \text{ mm} \quad I_y : 508,0 \text{ cm}^4$$

$$t_f : 9,0 \text{ mm} \quad i_x : 22,00 \text{ cm}$$

$$r : 13,0 \text{ mm} \quad i_y : 3,70 \text{ cm}$$

$$D_s : 305,0 \text{ mm} \quad Z_x : 750,90 \text{ cm}^3$$

$$D_{tee} : 72,5 \text{ mm} \quad Z_y : 67,70 \text{ cm}^3$$

$$A_{g \text{ maks}} : 56,5 \text{ Cm}^2 \quad A_{g \text{ min}} : 36,7 \text{ Cm}^2$$

Pemeriksaan persyaratan penampang profil

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{15}{2 \times 0,9} = 8,33$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{45 - 2(0,9 + 1,3)}{0,65} = 70,462$$

Penampang kom (Tabel 7-5-1, Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

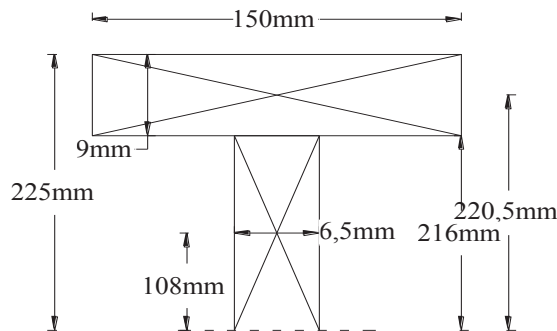
$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \longrightarrow 8,33 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \longrightarrow 70,5 < 108,444$$

Jadi, tekuk lokal pada flens maupun badan tidak terjadi sebelum kapasitas momen tercapai sehingga kapasitas momen penampang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis.

$$\phi M_n = \phi M_p$$



$$Z_x = 2 \times \left\{ \left[ 15 \times 0,9 \times 22,05 \right] + \left[ 0,65 \times 21,60 \times 10,8 \right] \right\}$$

$$= 898,614 \text{ cm}^3$$

sehingga diperoleh nilai perbandingan tinggi (K') yang sebenarnya

$$K' = \frac{Z_{gperlu}}{Z_b}$$

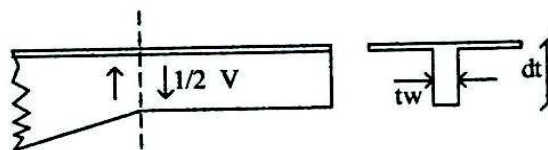
$$K' = \frac{986452,8}{898,614} = 1097,749176$$

### C. Menentukan tinggi pemotongan zig-zag

$$h' = 20,25 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan :

$$d_T = 7,25 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$



Gambar 4.21 Tinggi Penampang T Baja Castella

#### D. Dimensi balok sarang tawon

Tinggi balok sarang tawon :

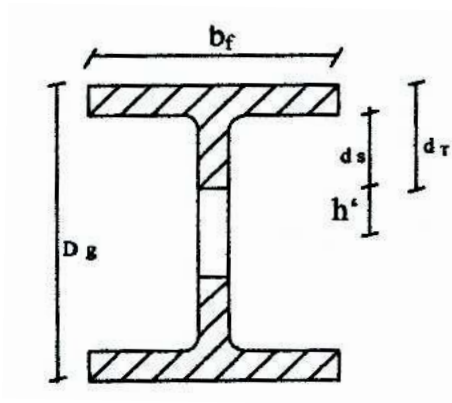
$$D_g = 45 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Tinggi penampang T :

$$d_T = 7,25 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

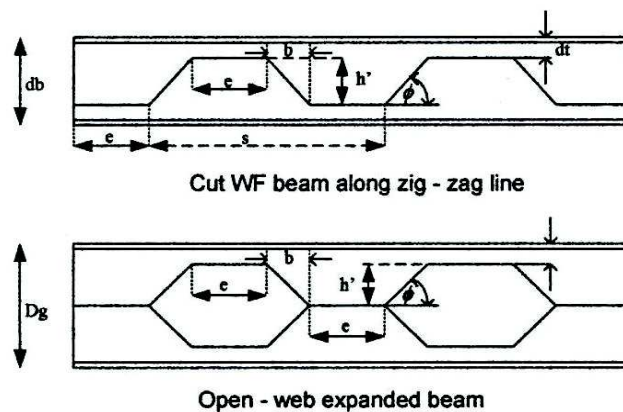
Tinggi Tangkai penampang T :

$$d_s = d_T - t_f = 7,25 - 0,90 = 6,4 \text{ cm}$$



Gambar 4.22 Penampang Melintang Sarang Tawon

Besar kemiringan sudut pemotongan zig-zag diambil  $\phi = 45^\circ$



Gambar 4.23 Pemotongan dan penyambungan Balok Sarang Tawon

**E. Menentukan tegangan kritis pada sisi miring badan balok Sarang**

Tawon berdasarkan pada faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap. (Ps 8.4.2.2 , Pustaka 4)

$$\lambda_G = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{15}{2 \cdot 0,9} = 8,3333$$

Batas- batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}} = 11,241$$

$$\lambda_r = 0,38 \sqrt{\frac{kc \cdot E}{fy}}$$

$$\text{Dengan } kc = \frac{4}{\sqrt{\frac{d_g}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{45}{0,65}}} = 0,481$$

$$\text{maka } \lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{0,459 \times 2,1 \times 10^5}{240}} = 27,055$$

Untuk komponen struktur yang memenuhi

$$\lambda_G = 8,3333 \leq \lambda_p = 11,241$$

$$\text{maka } f_c = f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

**F. Tegangan geser pada bagian sisi miring balok Sarang Tawon digunakan**

jika tegangan geser pada bagian sisi miring harus memenuhi :

$$\bar{\tau} = \frac{4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)^2}{3 \cdot \tan \phi} \cdot f_{cr} \leq f_y \quad (\text{Hal.4.7-15,Pustaka 5})$$

$$\bar{\tau} = \frac{4 \times \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)^2}{3 \times \tan 45} \times 2400 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau} = 1973,921 \text{ kg/cm}^2 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$



Merencanakan tegangan geser maksimum sepanjang garis netral badan balok Sarang Tawon, diasumsikan sebagai balok dengan badan yang utuh :

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= 1,16 \times \frac{V_u}{t_w \cdot D_g} = 1,16 \times \frac{17139,000}{0,7 \times 45} \\ &= 679,7005 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\tau} \quad 1973,921 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

G. Setelah diketahui tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok Sarang Tawon, diperoleh rasio :

$$e = 10,125 \text{ (Tabel Profil Baja Castella)}$$

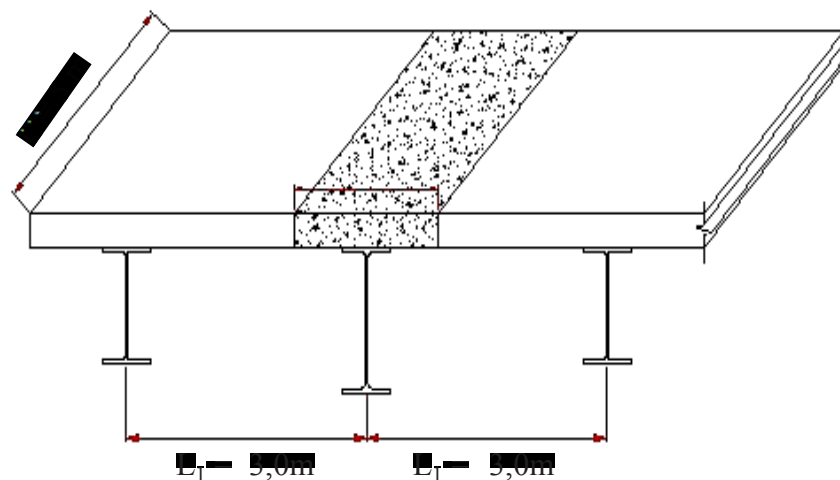
$$\text{Maka diambil } e = 10,125 \text{ cm}$$

Panjang (e) selalu konstan sepanjang bentang

Jarak interval lubang Sarang Tawon :

$$s = 43,74 \text{ cm (Tabel Profil Baja Castella)}$$

#### ❖ Menentukan Lebar Efektif



Gambar 4.24 Lebar efektif balok induk B59

1) Lebar Efektif ( $b_{eff}$ )

Perhitungan lebar efektif pelat beton ( $b_{eff}$ ) gelagar tengah, yakni :

$$\bullet \quad b_{eff} \leq \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 500$$

$$\leq 125 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad b_{eff} \leq (L_1 + L_2) / 2 = (300 + 300) / 2$$

$$\leq 300 \text{ cm}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_{eff} = 125 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton } (E_c) &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Rasio Modulus Elastisitas } (n) = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,2$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{125}{8,158} = 15,323 \text{ cm} \\ \text{Komposit } (b_{tr}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang beton} &= b_{tr} \times t_s \\ \text{Komposit } (A_{tr}) & \end{aligned}$$

$$= 15,323 \times 12 = 183,878 \text{ cm}^2$$

- ❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas pada penampang T balok sarang tawon

| Elemen   | Luas Penampang<br>$A(\text{cm}^2)$ | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | $Ay (\text{cm}^3)$ | $I_o (\text{cm}^4)$ |
|----------|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Pelat    | 183,878                            | 22,500                                     | 4137,261           | 2206,54             |
| 450.150  | 36,67                              | 34,500                                     | 1265,115           | 16895,10            |
| $\Sigma$ | 220,548                            |  | 5402,376           | 19101,64            |

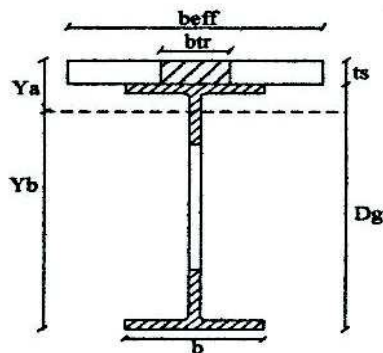
$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{5402,38}{220,548} = 24,495 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 45 + 12 - 24,495 \\ &= 32,505 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 24,495 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 18,495 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 34,5 - 24,495 = 10,005 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_g &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ &= 2206,54 + \left[ 183,878 \times 18,4952 \right]^2 + 16895 + \\ &\quad \left[ 36,670 \times 10,005 \right]^2 \\ &= 85671,91 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

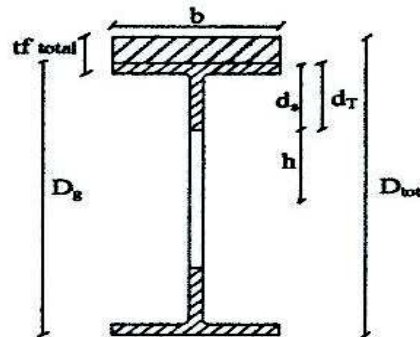


Gambar 4.25 Penampang Melintang Balok Komposit

❖ Pelat beton ditransformasikan menjadi baja

$$\begin{aligned} t_{f_{total}} &= \frac{b_{tr} \cdot t_s}{b} + t_f = \frac{15,323 \times 12}{15} + 0,9 \\ &= 13,159 \text{ cm} \end{aligned}$$

H. Menentukan ukuran dimensi balok Sarang Tawon :



Luas Penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 A_{Tatas} &= A_{fatas} + A_s && (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_{f\text{total}} + d_s \cdot t_w = [15 \times 13,159] + [6,4 \times 0,65] \\
 &= 197,378 + 4,128 = 201,506 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{Tbawah} &= A_{fbawah} + A_s && (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w = [15 \times 0,9] + [6,4 \times 0,65] \\
 &= 13,500 + 4,128 = 17,628 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

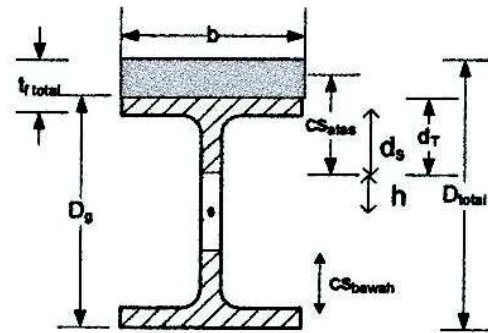
Modulus Kelembaman penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 S_{Tatas} &= A_{fatas} \left( d_s + \frac{t_{f\text{total}}}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 197,378 \times 6,4 + \frac{13,1586}{2} + \left( 4,128 \times \frac{6,4}{2} \right) \\
 &= 2565,063 \text{ cm}^3 \\
 S_{Tbawah} &= A_{fbawah} \left( d_s + \frac{t_f}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 13,500 \times 6,4 + \frac{0,9}{2} + \left( 4,128 \times \frac{6,4}{2} \right) \\
 &= 104,905 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus inersia penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 I_{T \text{ atas}} &= A_{f \text{ atas}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_{f \text{ total}} + \frac{t_{f \text{ total}}^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 197,38 \times \left( 6,35^2 + 6,35 \times 13,159 + \frac{13,159^2}{3} \right) + \\
 &\quad 4,128 \times \frac{6,35^2}{3} \\
 &= 35898,415 \text{ cm}^4 \\
 I_{T \text{ bawah}} &= A_{f \text{ bawah}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 13,50 \times \left( 6,35^2 + 6,4 \times 0,9 + \frac{0,900^2}{3} \right) + \\
 &\quad 6,350 \times \frac{6,35^2}{3} \\
 &= 706,856 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat :



Gambar 4.26 dimensi penampang komposit melintang

Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 CS_{\text{ atas}} &= \frac{S_{T \text{ atas}}}{A_{T \text{ atas}}} = \frac{2565,063}{201,506} = 12,729 \text{ cm} \\
 CS_{\text{ bawah}} &= \frac{S_{t \text{ bawah}}}{A_{t \text{ bawah}}} = \frac{104,905}{17,628} = 5,951 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

❖ Modulus tahanan plastis tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} Z_{atas} &= \left( A_{f atas} \left( C_{S atas} - \frac{t_{ftotal}}{2} \right) \right) + \left( A_s \cdot \left( C_{S atas} - \frac{d_s}{2} \right) \right) \\ &= \left( 197,38 \left( 12,729 - \frac{13,2}{2} \right) \right) + \left( 6,350 \left( 12,729 - \frac{6,35}{2} \right) \right) \\ &= 1274,587 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{bawah} &= \left( A_{fbawah} \left( d_s + t_f - C_{S bawah} - \frac{t_f}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. A_s \cdot \left( C_{S bawah} - \frac{d_s}{2} \right) \right) \\ &= \left( 13,50 \left( 6,350 + 0,65 - 5,951 - \frac{0,7}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. 6,35 \left( 5,951 - \frac{0,65}{2} \right) \right) \\ &= 123,950 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Inersia tangkai penampang T :

$$\begin{aligned} I_{tatas} &= I_{Tatas} - (C_{Satas} \cdot S_{Tatas}) \\ &= 35898,415 - \left( 12,729 \times 2565,063 \right) \\ &= 3246,503 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tbawah} &= I_{Tbawah} - (C_{Sbawah} \cdot S_{Tbawah}) \\ &= 706,856 - \left( 5,951 \times 104,905 \right) \\ &= 82,54582 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

❖ Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} SS_{atas} &= \frac{I_{tatas}}{C_{Satas}} = \frac{3246,503}{12,729} = 255,038 \text{ cm}^3 \\ SS_{bawah} &= \frac{I_{tbawah}}{C_{Sbawah}} = \frac{82,546}{5,951} = 13,870 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

❖ Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$\begin{aligned} d &= 2h' + C_{satas} + S_{sbawah} = 2 \cdot 20,3 + 12,729 + 13,870 \\ &= 67,100 \text{ cm} \end{aligned}$$

- ❖ Menentukan Sumbu Netral Pada penampang Komposit terhadap serat atas pada penampang dinding penuh balok sarang tawon

| Elemen  | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat   | 183,878                               | 22,500                                     | 4137,261              | 2206,54                           |
| 450.150 | 56,53                                 | 34,500                                     | 1950,285              | 16895,1                           |
| Σ       | 240,408                               |  | 6087,546              | 19101,64                          |

$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{6087,55}{240,408} = 25,322 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 45 + 12 - 25,322 \\ &= 31,678 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 25,322 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 19,322 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 35 - 25,322 = 9,178 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{g'} &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ &= 2206,54 + \left[ 183,878 \times 19,3217 \right]^2 + 16895 + \\ &\quad \left[ 56,530 \times 9,178 \right]^2 \\ &= 92510,72 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang dinding penuh komposit :

- ❖ Modulus terhadap serat atas dari beton :

$$S_c = \frac{I_{g'}}{y_a} = \frac{92510,722}{25,322} = 3653,417 \text{ cm}^3$$

❖ Modulus terhadap serat bawah dari beton :

$$S_s = \frac{I_g'}{yb} = \frac{92510,722}{31,678} = 2920,318 \text{ cm}^3$$

I. Pemeriksaan kriteria penampang untuk penampang balok castela

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{15}{2 \times 0,9} = 8,33$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(tf + r)}{tw} = \frac{45 - 2(0,9 + 1,3)}{0,65} = 70,462$$

Penampang kompak (Tabel 7-5-1, Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \rightarrow 8,33 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \rightarrow 70,5 < 108,444$$

jadi penampang berbadan kompak, dan  $M_n$  dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastik (PS.8.2.3, Pustaka 4), dimana :

$$\phi M_n = \phi M_p$$

J. Pemeriksaan ketebalan pelat badan bagian T yang merupakan bagian yang

mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{h}{t_w} \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Ps.8.7.1, pustaka 4})$$

$$h = D_g - (2 \cdot t_f)$$

$$\frac{45 - (2 \cdot 0,9)}{0,65} \leq 6,36 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}}$$

$$66,46154 \leq 188,13 \quad \text{maka tidak diperlukan pelat pegaku vertikal}$$



**K.** Pemeriksaan ketebalan pelat sayap bagian tumpuan yang mengalami pengaruh tekuk lateral

Dimisalkan tidak ada pengekang (pengaku ) lateral diantara tumpuan sehingga

$$L = 5 \text{ m} = 500 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 2,pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } r_y = \sqrt{\frac{I_g'}{A}} = \sqrt{\frac{92510,72}{240,408}} = 19,616 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \times 19,616 \times \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{2400}} = 1021,3 \text{ cm}$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} \quad (\text{Hal 2,pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$x_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_g}$$

$$J \approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w)$$

$$I_w = I_g \frac{h^2}{4}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa} \approx 80.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$fL = 0,7 \cdot f_y = 0,7 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } J &\approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w) = \frac{1}{3} \left[ 45 \times 0,9^3 + 2 \times 15 \times 0,65 \right] \\ &= 17,435 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{3653,4} \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 17,435 \cdot 240}{2}}$$

$$= 50998,31 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{I_g \cdot h^2}{4 \cdot I_g} = 4 \left( \frac{3653,4}{8 \cdot 10^5 \cdot 17,435} \right)^2 \frac{45^2}{4}$$

$$= 1,389 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^4/\text{kg}^2$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} = \frac{50998,308 \cdot 19,616}{1680}$$

$$\sqrt{1 + \sqrt{1 + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot (1680)^2}}$$

$$= 3822,779 \text{ cm}$$

Karena  $L = 500 \text{ cm} < L_p = 1021,2640 \text{ cm}$  maka termasuk bentang pendek sehingga pengekang (pengaku) lateral tidak diperlukan serta kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur  $M_n = M_p$

**L. Pemeriksaan tegangan yang terjadi dengan persamaan distribusi, dimana**

momen lentur perlu ( $M_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat sayap dan kuat geser perlu ( $V_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat badan (Ps 8.9.2, pustaka 4). Dan momen lentur nominal pelat sayap ( $M_n$ ) dan kuat geser nominal pelat badan ( $V_n$ ) harus memenuhi :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

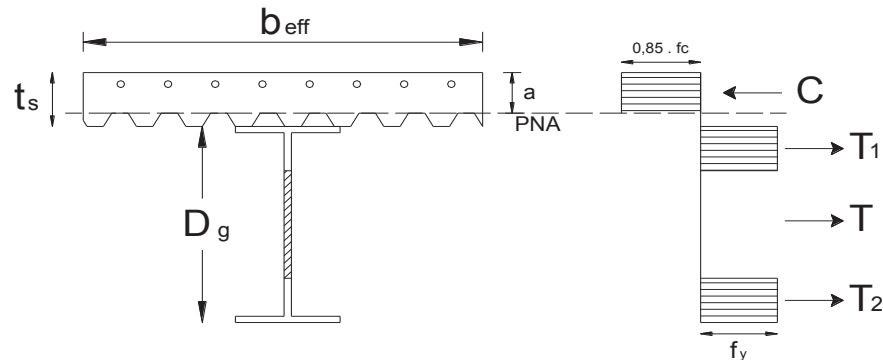
$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

Dimana :  $M_u \text{ tumpuan} = 21307,380 \text{ kgm}$

$M_u \text{ lapangan} = 18658,000 \text{ kgm}$

$V_u = 17139,000 \text{ kgm}$

### ❖ Kapasitas Momen Positif Penampang



Gambar 4.27 Garis netral penampang jatuh dalam pelat

Apabila gaya tekan C disamakan dengan gaya tarik akan diperoleh :

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff}} = \frac{36,670 \times 2400}{0,85 \times 300 \times 150}$$

$$= 2,301 \text{ cm} < t_s = 12 \text{ cm}$$

Jadi, garis netral berada di dalam pelat beton

Gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_{eff} = 0,85 \times 300 \times 2,301 \times 150$$

$$= 88008 \text{ kg}$$

Gaya tarik T adalah :

$$T_1 = T_2 = A_{s1} \cdot f_y = A_{s2} \cdot f_y = \{(b_f \cdot t_f) + (d_w \cdot t_w)\} \cdot f_y$$

$$= \{(15 \times 0,9) + (6,4 \times 0,65)\} \times 2400$$

$$= 42306 \text{ kg}$$

Mencari titik tengah antara  $T_1$  dan  $T_2$  sejauh  $x$  dari titik A. Apabila momen diambil terhadap titik A, dengan pemisahan jarak  $R_{(T_1+T_2)}$  terhadap A =  $x$

$$R_{(T_1+T_2)} = T_1 + T_2 = 42306 + 42306 = 84612 \text{ kg}$$

$$R_{(T_1+T_2)} \cdot x = (T_1 \cdot 4,65) + (T_2 \cdot 61,31)$$

$$84612 \cdot x = (42306 \times 4,65) + (42306 \times 61,31)$$

$$x = 32,980 \text{ cm}$$

Jadi, besarnya  $R_{(T1+T2)} = 84612 \text{ kg}$  dan letaknya adalah 32,980 cm dari titik A

$$\begin{aligned} \text{Panjang lengan } d_1 &= x + \left( t_s - \frac{a}{2} \right) \\ &= 32,980 + \left( 12 - \frac{2,30}{2} \right) = 43,830 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kekuatan momen nominal  $M_n$  adalah :

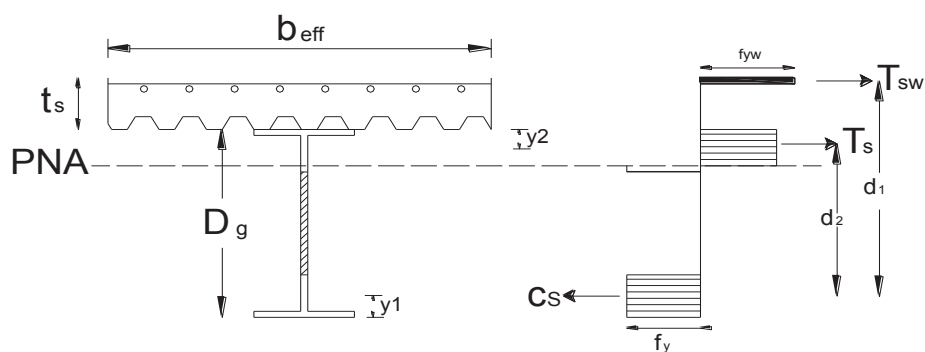
$$\begin{aligned} M_{n1} &= C \cdot d_1 = 88008 \times 43,830 \\ &= 3857352,676 \text{ kgcm} = 38573,527 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{n2} &= T \cdot d_1 = 84612 \times 43,830 \\ &= 3708507,461 \text{ kgcm} = 37085,075 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Maka diambil nilai terkecil yaitu  $M_n = 37085,075 \text{ kgm}$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n &= 0,85 \times 37085,07 \\ &= 31522,313 \text{ kgm} > M_u = 18658,000 \text{ kgm} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

#### ❖ Kapasitas Momen Negative Penampang



Gambar 4.28 Garis netral penampang jatuh pada badan profil

Batang tulangan wiremesh meambah kekuatan tarik nominal  $T_{sw}$  :

Digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 100$

$$T_{sw} = \left( \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times f_{yw}$$

$$\begin{aligned} T_{sw} &= \left( \frac{1000}{100} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \right) \times 4910 \\ &= 24690,286 \text{ kg} \end{aligned}$$

Steel Deck menambah kekuatan tarik nominal  $T_{sd}$  :

$$\begin{aligned} T_{sd} &= 0,750 \times 1000 \times 1000 \times 550 \\ &= 412500000 \text{ N} = 41250 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dimisalkan gaya tekan nominal maksimum dalam penampang profil balok :

$$C_{maks} = A_s \cdot F_y$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_s &= \{ (D_g - 2t_f) \cdot t_w \} + \{ 2 \cdot b_f \cdot t_f \} \\ &= \{ (45 - 2 \cdot 0,9) \cdot 0,65 \} + \{ 2 \cdot 15 \cdot 0,9 \} \\ &= 55,080 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$C_{maks} = A_s \cdot f_y = 55,080 \times 2400 = 132192 \text{ kg}$$

Karena  $C_{maks}$  lebih besar dari  $T_{sw}$ , maka PNA terletak di dalam penampang

baja balok sarang tawon. Dimana persyaratan keseimbangan gaya dapat

dinyatakan :

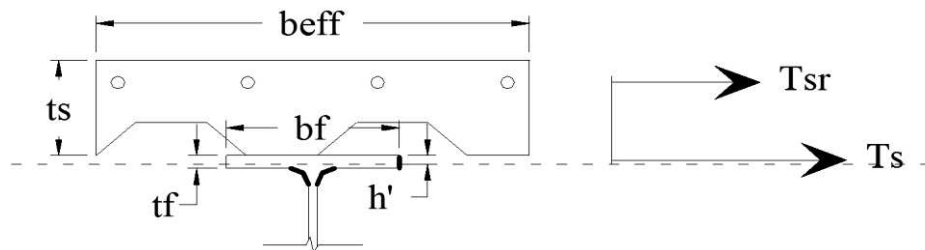
$$T_{sw} + T_s + T_{sd} = C_{maks} - T_s$$

$$2 \cdot T_s = C_{maks} - T_{sw}$$

$$2 \cdot T_s = 132192 - 24690$$

$$T_s = 53750,86 \text{ kg}$$

Misalkan PNA berada di dalam badan penampang profil balok, maka dari tepi bawah flens baja ke garis netral adalah :



$$A = (b_f \cdot t_f) + (h_l \cdot t_w)$$

$$h_l = \frac{A - (b_f \cdot t_f)}{t_w}$$

dimana :

$$A = \frac{T_s}{f_y} = \frac{53750,85714}{2400} = 22,396 \text{ cm}^2$$

$$h_l = \frac{22,396 - (15 \times 0,9)}{0,65} = 13,686 \text{ cm}$$

Sehingga garis netral (GN) dari serat atas pelat beton adalah :

$$\begin{aligned} y &= h_l + t_f + t_s \\ &= 45 + 0,9 + 12 = 57,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y1 dari gaya tekan Cs didalam penampang baja diukur dari dasar dasar penampang baja

| Elemen             | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm | A . Y<br>cm <sup>3</sup> |
|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| Profil WF          | 55,080                      | d/2 = 22,5       | 1239,3                   |
| Flens = -(tf x bf) | -13,5                       | ya = 44,55       | -601,425                 |
| Badan = -(h' x tw) | -8,9                        | yb = 43,42       | -386,234                 |
| TOTAL              | 32,7                        |                  | 251,6409                 |

$$Y_1 = \frac{\Sigma A \cdot 251,6409}{\Sigma A \cdot 32,7} = 7,6992513 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} M_{n1} &= T_{sw} \cdot d_1 \\ &= 24690,28571 \times (h - y_1 + t_s - 25) \\ &= 24690,28571 \times (45 - 7,7 + 12 - 25) \\ &= 599992,4293 \text{ kgcm} = 5999,924293 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y2 dari gaya tekan Ts diukur dari sisi atas flens atas profil Wf

| Elemen                 | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm | A · Y<br>cm <sup>3</sup> |
|------------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| Profil WF              | 55,08                       | d/2 = 22,5       | 1239,3                   |
| Flens = -(tf x bf)     | -13,5                       | ya = 44,55       | -601,425                 |
| Badan = -(d-h'-2tf)*tw | -27,2                       | yc = 23,18       | -630,391                 |
| TOTAL                  | 14,4                        |                  | 7,484443                 |

$$Y_2 = \frac{\Sigma A \cdot 7,484443}{\Sigma A \cdot 14,4} = 0,520128 \text{ cm}$$

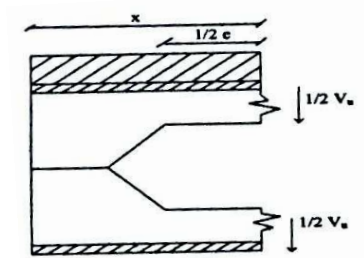
$$\begin{aligned} M_{n2} &= T_s \cdot d_2 \\ &= 53750,85714 \times (D_g - (y_1 + y_2)) \\ &= 53750,85714 \times (45 - (7,6993 + 0,5201)) \\ &= 1976989,892 \text{ kgcm} = 19769,89892 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= M_{n1} + M_{n2} \\ &= 5999,924293 + 19769,89892 \\ &= 25769,82321 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 25769,82321$$

$$= 21904,350 \text{ kgm} > Mu = 21307,380 \text{ kgm} \dots \text{OK}$$

Kuat geser nominal yang bekerja pada penampang T:



Kuat geser nominal pada penampang T :

$$V_{nTatas} = \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 1274,587 \times 2400}{10,125}$$

$$= 1208497,254 \text{ kg}$$

$$V_{nTbawah} = \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 123,950 \times 2400}{10,125}$$

$$= 117523,134 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_n = V_{nTatas} + V_{nTbawah}$$

$$= 1208497,254 + 117523,134 = 1326020,388 \text{ kg}$$

$$Vu \leq \phi \cdot Vn$$

$$17139 \text{ kg} \leq 0,85 \cdot 1326020,388$$

$$17139 \text{ kg} \leq 1127117,33 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

**M.** Pemeriksaan tegangan yang terjadi dengan persamaan interaksi geser dan dan lentur, dimana momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang (Ps 8.9.3, Pustaka 4 ). Maka momen lentur terfaktor ( $M_u$ ) selain harus kurang dari atau sama dengan momen lentur penampang ( $M_n$ ) dan kuat geser terfaktor ( $V_u$ ) harus kurang dari atau sama dengan



kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja ( $V_n$ ), balok juga harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu :

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} + 0,625 \cdot \frac{V_u}{\phi \cdot V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{21307}{21904,350} + 0,625 \cdot \frac{17139}{1127117,330} \leq 1,375$$

$$0,982 \leq 1,375 \text{ ..... OK}$$

**N.** Pemeriksaan kuat geser nominal horizontal pelat badan terhadap kuat geser horizontal yang bekerja pada bagian utuh balok sarang tawon sepanjang garis netral :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

Dimana :

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 17139 \times \frac{43,74}{2 \times 67,100}$$

$$= 5586,146 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,6 \cdot t_w \cdot e \cdot f_y = 0,65 \times 0,65 \times 10,125 \times 2400$$

$$= 10266,750 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$5586,146 \text{ kg} \leq 0,85 \times 10266,75 \text{ kg}$$

$$5586,146 \text{ kg} \leq 8726,738 \text{ kg ..... OK}$$

**O.** Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada sisi miring badan utuh karena bekerjanya gaya geser horizontal :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 17139 \times \frac{43,74}{2 \times 67,100}$$

$$= 5586,146 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,65 \times \frac{4 \cdot t_w \cdot e \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)}{3 \cdot \tan \phi} f_y$$

$$= 0,65 \times \frac{4 \times 0,65 \times 10,125 \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)}{3 \tan 45} 2400$$

$$= 17405,886 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$5586,146 \text{ kg} \leq 0,85 \times 17405,89 \text{ kg}$$

$$5586,146 \text{ kg} \leq 14795,003 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

**P.** Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada bagian badan utuh balok Sarang Tawon karena adanya beban yang bekerja :

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (\text{hal 45, Pustaka 4})$$

Dimana :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

Dengan jarak antara pengaku vertikal ( $a$ ) direncanakan = 200 cm

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left( \frac{200}{45} \right)^2} = 5,253$$

maka :

$$\frac{45}{0,65} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5,253 \times 2,1 \times 10^5}{240}}$$

$$69,231 \leq 74,577 \text{ ..... OK}$$

maka :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$\text{Dimana : } V_u = 17139 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 0,65 \cdot (Dg - 2tf) \cdot tw \cdot fy \\ &= 0,65 \times (45 - 2 \times 0,9) \times 0,65 \times 2400 \\ &= 43804,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi \cdot V_n \\ 17139,000 \text{ kg} &\leq 0,85 \times 43804,800 \text{ kg} \\ 17139,000 \text{ kg} &\leq 37234,080 \text{ kg ..... OK} \end{aligned}$$

**Q.** Perencanaan pengaku vertikal untuk menahan gaya tekuk lokal pelat

$$\text{badan Direncana} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Apabila } \frac{1100}{\sqrt{fy}} \leq \frac{h}{t_w} \leq \frac{1400}{\sqrt{fy}} \text{ maka } C_v = \frac{1100}{\frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{fy}} \text{ (Ps 11.11.2, Pustaka 9)}$$

$$= \frac{1100}{\sqrt{240}} \leq \frac{45}{0,65} \leq \frac{1400}{\sqrt{240}}$$

$$= 71,005 \leq 69,2 \leq 90,37$$

$$\text{Maka } C_v = \frac{1100}{\frac{45}{0,65} \sqrt{240}} = 1,026$$

$$A_s \text{ pengaku} \leq 0,5 D A_w (1 - C_v) \left\{ \left( \frac{a}{h} \right) - \frac{\left( \frac{a}{h} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{a}{h} \right)^2}} \right\} \text{ (Hal 52, Pustaka 9)}$$

Dimana  $D = 1$  untuk sepasang pengaku

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 0,51 \times 1 \times 45 - (2 \times 0,9) \times (1 - 1,026)$$

$$\left\{ \left( \frac{200}{45} \right) - \frac{\left( \frac{200}{45} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{200}{45} \right)^2}} \right\}$$

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 2,4904 \text{ cm}^2$$

Dicoba  $t_s = 1 \text{ cm}$  dan  $h = 45$

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 2 \times (1 \times 45) = 90 \text{ cm}^2 \geq 2,5 \text{ cm}^2 \dots \text{OK}$$

Pengecekan kekakuan minimum untuk pengaku vertikal :

$$\text{Untuk } \left( \frac{a}{h} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s \geq \frac{1,5 \cdot h^3 \cdot t_w^3}{a^2} \quad (\text{Hal 52, Pustaka 4})$$

$$\left( \frac{200}{45} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s = \frac{1}{12} \times 45 \times 1^3 \geq \frac{1,5 \times 45^3 \times 0,65^3}{200^2}$$

$$4,444444 \geq 1,4142 \text{ maka } 3,750 \text{ cm}^4 \geq 0,938 \text{ cm}^4 \dots \text{OK}$$

Persyaratan profil dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang :

$$\text{Apabila } 1 \leq a/h \leq 3 \text{ maka } (h/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 43, Pustaka 4})$$

$$1 \leq \frac{200}{45} \leq \text{ maka } \left( \frac{45}{0,7} \right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}}$$

$$1 \leq 4,4444 \leq \text{ maka } 69 \leq 209,13342 \dots \text{OK}$$

**R. Perhitungan *shear connector***

Digunakan shear connector stud baja berkepala dengan diameter

Diameter maksimum stud yang diijikan :

$$\begin{aligned} 2,5 t_f &= 2,5 \times 9 \\ &= 22,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan stud dengan diameter :  $\frac{5}{8} \text{ in} = 15,875 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas stud (Asa)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,88^2 \\ &= 197,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal satu buah stud ( $Q_n$ ) :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sa} \times \sqrt{f_c \times E_c} \leq A_{sa} \times f_u \\ &= 0,5 \times 197,83 \times \sqrt{30 \times 25743} \leq 197,8 \times 410 \\ &= 86927,462 \text{ N} > 81111,229 \text{ N} \text{ maka dipakai :} \\ Q_n &= 81111,23 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser maksimum pada daerah momen positif adalah yang terkecil dari :

- Kehancuran beton

$$\begin{aligned} V_h &= 0,85 \times f_c \times b_{eff} \times t_s \\ &= 0,85 \times 30 \times 1250 \times 120 \\ &= 3825000 \text{ N} \end{aligned}$$

- Leleh tarik dari penampang baja

$$\begin{aligned} V_h &= f_y \times A_s \\ &= 240 \times 5653 \\ &= 1356720 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $V_h = 1356720 \text{ N}$

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{1356720}{81111,23} = 16,726661 \approx 18 \text{ buah}$$

Maka, digunakan stud dengan jumlah : 18 buah pada 1/2 bentang dan sejumlah 36 buah stud sepanjang bentang balok.

Pendetailan jarak stud menurut SNI 1729 : 2015 pasal I8 (3e) yakni :

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 4 \ d \\ &= 4 \times 15,875 \\ &= 63,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 32 \times d \\ &= 32 \times 15,875 \\ &= 508 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika  $b_f = 150 \text{ mm}$ , maka

$$n = \frac{b_f}{S_{\min}} = \frac{150}{63,5} = 2,3622 \approx 2 \text{ buah}$$

dengan n adalah jumlah stud pada penampang melintang balok.

Dengan demikian digunakan 2 stud dalam 1 baris melintang balok dan terdapat 18 baris stud sepanjang bentang balok

$$\text{Panjang bentang (L)} = 5000 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar stud (S)} = \frac{5000}{18} = 277,78 \text{ mm}$$

$$\text{Maka digunakan } S = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 200 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

Jarak stud dlm 1 baris melintang ( $S_a$ ) yakni :

$$S_a = \frac{b_f}{n} = \frac{150}{2} = 75 \text{ mm}$$

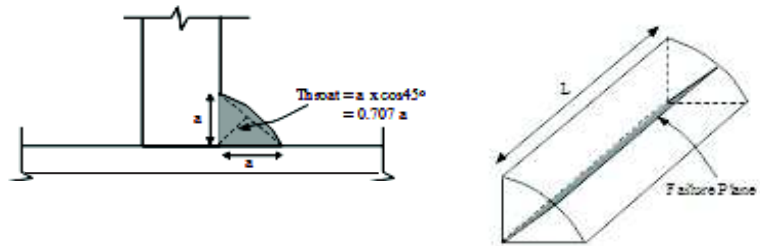
Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 75 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

*Perhitungan las fillet pada penghubung geser :*

Tebal las rencana (a), disyaratkan sebagai berikut :

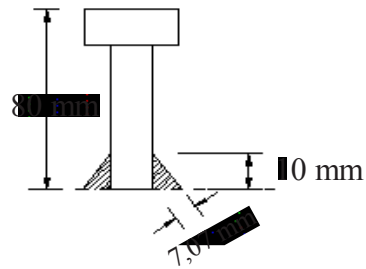
Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J2b tabel J2.4, tebal las minimum ( $a_{min}$ ) pada bagian yang disambung dengan ketebalan paling tipis (t) : 9 mm yang mana  $6 \text{ mm} > t = 5 < 13 \text{ mm}$ , yakni 5 mm



Dicoba las fillet  $\frac{1}{2}$  in, electrode = 80 Ksi, tebal efektif las :

tebal efektif ( $t_e$ ) =  $a \times \cos 45^\circ$

$$\begin{aligned} Throat &= 10 \times \cos 45 \\ &= 7,0711 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$F_{EXX} = 80 \times 6,895 = 551,6 \text{ MPa}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= 0,75 \times t_e \times (0,6 \times F_{EXX}) \\ &= 0,75 \times 7,0711 \times (0,6 \times 551,6) \\ &= 1755,1805 \text{ N/mm panjang las} \end{aligned}$$

Panjang keliling konektor (K) :

$$\begin{aligned} K &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 15,875 \\ &= 49,8475 \text{ mm} \end{aligned}$$

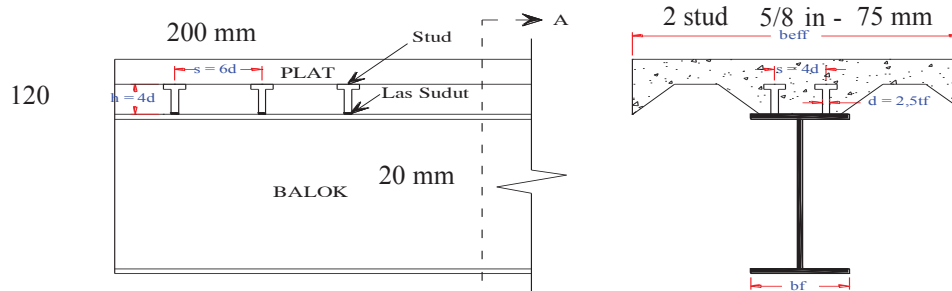
Las sekeliling konektor

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} = \frac{Q_n}{K} = \frac{81111,23}{49,8475} = 1627,1875 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} < \phi R_{nw}$$

$$1627,1875 \text{ N} < 1755,180452 \text{ N}$$



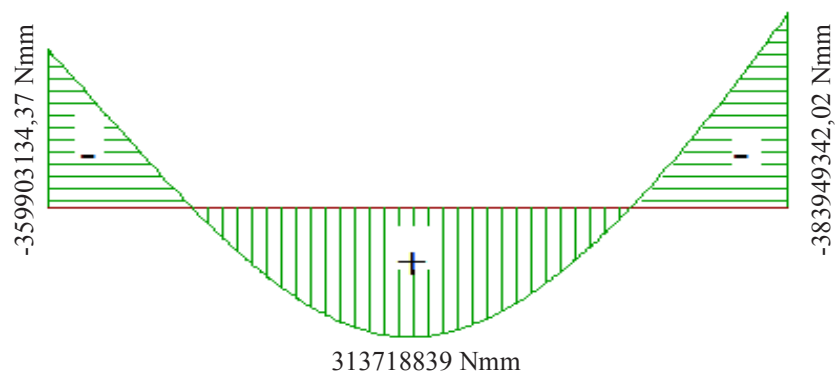
Gambar 4.29 Letak stud pada penampang profil

#### S. Kontrol lendutan

Lendutan yang diijinkan

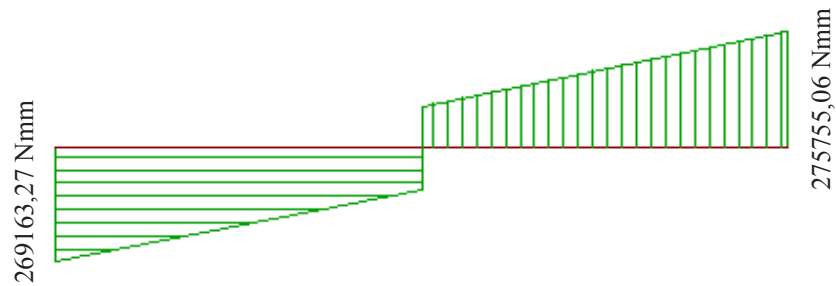
$$\Delta = \frac{1}{360} L = \frac{1}{360} \times 5000 = 13,89 \text{ mm}$$

Besar lendutan yang terjadi (dihitung menggunakan metode momen area) sebagai berikut :



Gambar 4.30 Bidang momen B59 akibat kombinasi beban 2





Gambar 4.31 Gaya geser B59 akibat kombinasi beban 2

Pembebanan pada balok B59

$$q_d = 25,561 \text{ N/mm} \quad P_d = 134258,08 \text{ N}$$

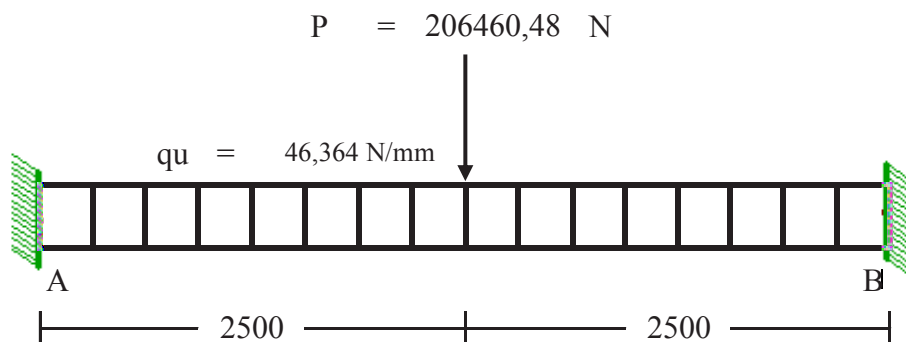
$$q_t = 9,807 \text{ N/mm} \quad P_t = 28344,24 \text{ N}$$

Beban merata terfaktor ( $q_u$ ) :

$$\begin{aligned} 1,2 D + 1,6 L &= 1,2 \times 25,6 + 1,6 \times 9,807 \\ &= 46,36 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Beban terpusat terfaktor ( $P_u$ ) :

$$\begin{aligned} 1,2 D + 1,6 L &= 1,2 \times 134258,08 + 1,6 \times 28344,24 \\ &= 206460,48 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.32 Beban merata B59 akibat beban terfaktor

Menentukan jarak bidang momen (dari A ke  $M_{\max}$  positif)

$$\text{Dimana } x \leq 2500 \text{ mm}$$

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$3,14E+08 = 269163,27 x - \frac{1}{2} \cdot 46,364 x^2 + -359903134,4$$

$$0 = -23,18 x^2 + 269163,27 x - 6,74E+08$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{269163^2 - 4 \times -23,18 \times -673621973,4}}{2 \times -23,1822}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{9984708672,86}}{-46,36}$$

$$x_a = \frac{-269163,3 + 99923,51411}{-46,3644}$$

$$= 4000,000 \text{ mm} > 2500 \text{ mm} \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

$$x_b = \frac{-269163,3 - 99923,51411}{-46,3644}$$

$$= 8310,564 \text{ mm} > 5000 \text{ mm} \quad \text{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } L_1 = 4000,000 \text{ mm}$$

Menentukan jarak bidang momen (dari B ke momen nol)

$$\text{Dimana } x < 2500 \text{ mm}$$

$$M_0 = Ra \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + Ma$$

$$0 = 269163,27 x - \frac{1}{2} \cdot 46,364 x^2 + -359903134,4$$

$$0 = -23,18 x^2 + 269163,27 x - 359903134,4$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{269163^2 - 4 \times -23,18 \times -359903134,4}}{2 \times -23,1822}$$

$$x_{a,b} = \frac{-269163,3 \pm \sqrt{39075480150,72}}{-46,36}$$

$$x_a = \frac{-269163,3 + 197675,1885}{-46,3644}$$

$$= 1891,874 \text{ mm} < 2500 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$x_b = \frac{-269163,3 - 197675,1885}{-46,3644}$$

$$= 10418,899 \text{ mm} > 2500 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } X_1 = 1891,874 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= L_1 - X_1 \\ &= 4000,000 - 1891,874 \\ &= 2108,126 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_2 &= L - L_1 \\ &= 5000,000 - 4000,000 \\ &= 1000,000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menentukan jarak bidang momen (dari B ke momen nol)

Dimana  $x < 2500 \text{ mm}$

$$M_0 = -R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - Mb$$

$$0 = -275755,1 \cdot x + \frac{1}{2} \cdot 46,364 \cdot x^2 - -383949342$$

$$0 = 23,182 \cdot x^2 + -275755,1 \cdot x - 383949342$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$x_{a,b} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$X_{a,b} = \frac{275755,06 \pm \sqrt{-2,76E+05 \cdot 4 \times 23,18 \times 383949342}}{2 \times 23,1822}$$

$$X_{a,b} = \frac{275755,06 \pm \sqrt{40437691369,30}}{46,364}$$

$$X_a = \frac{275755,06 + 201091,2513}{46,3644}$$

$$= 10634,751 \text{ mm} > 2500 \text{ mm} \quad \textbf{(Tidak Memenuhi)}$$

$$X_b = \frac{275755,06 - 201091,2513}{46,3644}$$

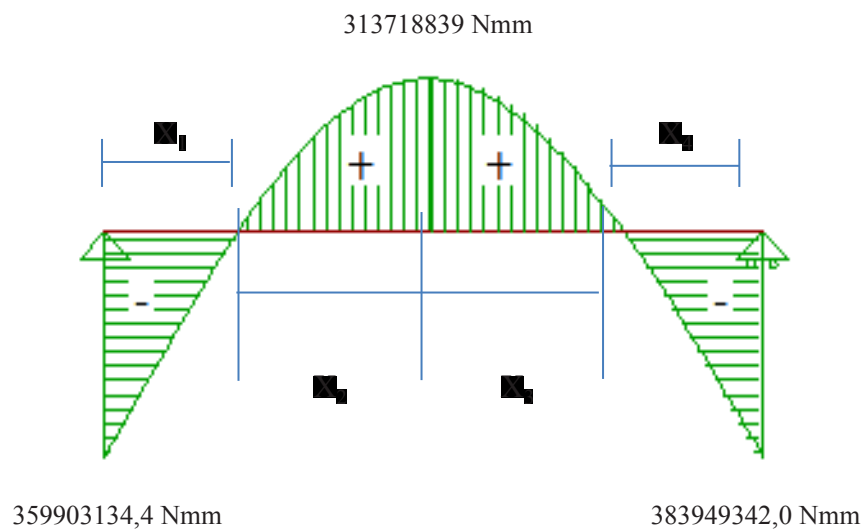
$$= 1960,369 \text{ mm} < 2500 \text{ mm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

$$\text{Maka } X_4 = 1960,369 \text{ mm}$$

$$X_3 = L_2 - X_4$$

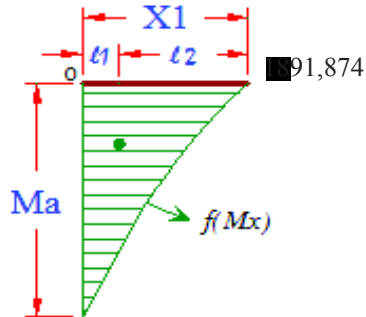
$$= 1000,000 - 1960,369$$

$$= -960,369 \text{ mm}$$



*Gambar 4.33 Bidang momen B59*

1) Menentukan Gaya A1 dan titik berat terhadap A1



Gambar 4.34 Bidang momen untuk mencari gaya A1

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$A_1 = \int f(MX) dx$$

$$= \int_{1891,87}^{0,0} \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right) dx$$

$$= \frac{1}{2} R_a x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_a \cdot x \Big|_{1891,87}^0$$

$$= 251523580481,39 \text{ Nmm}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_1 \ell_1 = \int x (MX)$$

$$A_1 \ell_1 = \int x (MX)$$

$$A_1 \ell_1 = \int_{1891,87}^{0,0} x \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right)$$

$$A_1 \ell_1 = \int_{1891,87}^{0,0} \left( R_a \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_a x \right)$$

$$251523580481,39 \ell_1 = 110789854655476,00$$

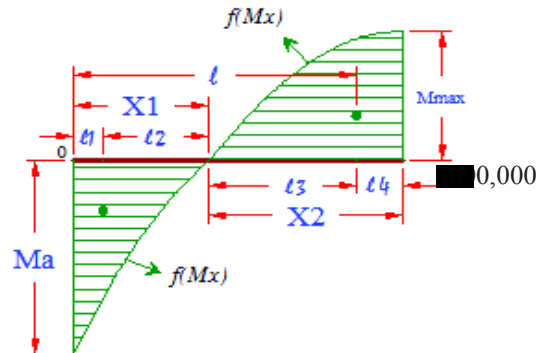
$$\ell_1 = 440,47502 \text{ mm}$$

$$\ell_2 = X_1 - \ell_1$$

$$= 1891,874 - 440,47502$$

$$= 1451,399 \text{ mm}$$

2) Menentukan Gaya A2 dan titik berat terhadap A2



Gambar 4.35 Bidang momen untuk mencari gaya A2

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$A_2 = \int Mx$$

$$= \int_{1891,87}^{4000,0} R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a$$

$$= \frac{1}{2} R_a x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_a \cdot x \Bigg|_{1891,87}^{4000,0}$$

$$= 470663603001,39 \text{ Nmm}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_2 \ell = \int x (MX)$$

$$A_2 \ell = \int x (MX)$$

$$A_2 \ell = \int_{1891,87}^{4000,0} x \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right)$$

$$A_2 \ell = \int_{1891,87}^{4000,0} \left( R_a \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_a \cdot x \right)$$

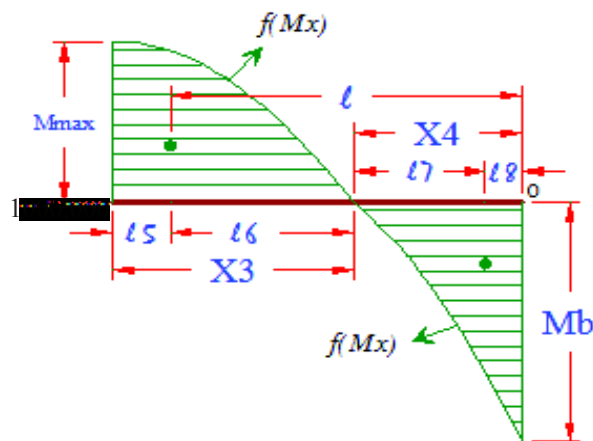
$$470663603001,39 \ell = 1490053739695480,00$$

$$= 3165,8572 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_3 &= \ell - X_1 \\
 &= 3165,857 - 1891,874 \\
 &= 1273,983 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_4 &= X_2 - \ell_3 \\
 &= 2108,126 - 1273,983 \\
 &= 834,143 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3) Menentukan Gaya A3 dan titik berat terhadap A3



Gambar 4.36 Bidang momen untuk mencari gaya A3

$$M_x = -R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - M_b$$

$$\begin{aligned}
 A_3 &= \int f(MX) dx \\
 &= \int_{1000,00}^{1960,4} -R_b \cdot x + \frac{1}{2} q x^2 - M_b dx \\
 &= \left[ -\frac{1}{2} R_b x^2 + \frac{1}{6} q x^3 - M_b \cdot x \right]_{1000}^{1960,4} \\
 &= 27229981565,14 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

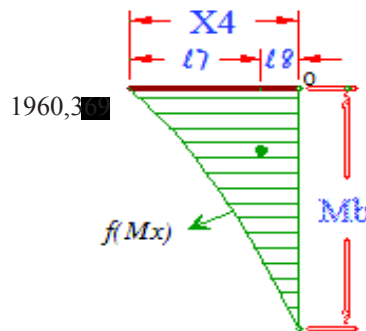
$$A_3 \cdot \ell = \int x (MX)$$

$$A_3 \cdot \ell = \int x (MX)$$

$$\begin{aligned}
 A_3 \ell &= \int_{1000,00}^{1960,4} x \left( -R_b \cdot x + \frac{1}{2} q x^2 - M_b \right) \\
 A_3 \ell &= \int_{1000,00}^{1960,4} \left( -R_b \cdot x^2 + \frac{1}{2} q x^3 - M_b x \right) \\
 27229981565,14 \ell &= 25016695356437,80 \\
 &= 918,71878 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \ell_6 &= \ell - X_4 \\
 &= 918,719 - 1960,369 \\
 &= -1041,651 \text{ mm} \\
 \ell_5 &= X_3 - \ell_6 \\
 &= -960,369 - -1041,651 \\
 &= 81,281 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

4) Menentukan Gaya A4 dan titik berat terhadap A4



Gambar 4.37 Bidang momen untuk mencari gaya A4

$$\begin{aligned}
 M_x &= -R_b \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x - M_b \\
 A4 &= \int f(MX) dx \\
 &= \int_{0,00}^{1960,4} \left( -R_b \cdot x + \frac{1}{2} q x^2 - M_b \right) \\
 &= \left. \frac{-1}{2} R_b x^2 + \frac{1}{6} q x^3 - M_b \cdot x \right|_0^{1960,4} \\
 &= 281029193585,15 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$



Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_4 \ell_8 = \int x (MX)$$

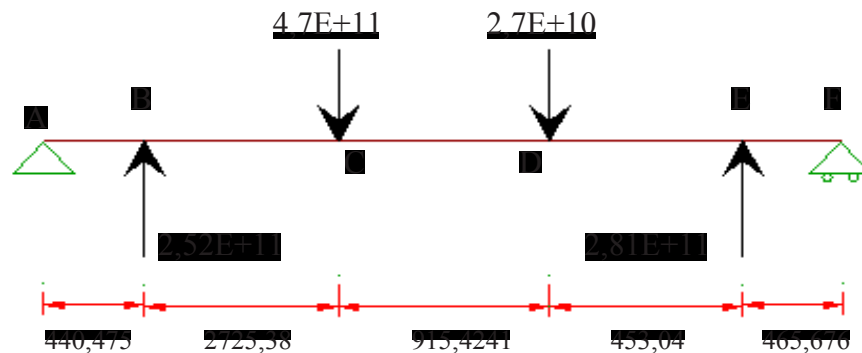
$$A_4 \ell_8 = \int x (MX)$$

$$A_4 \ell_8 = \int_{0,00}^{1960,4} x \left( -R_b \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 - M_b \right)$$

$$A_4 \ell_8 = \int_{0,00}^{1960,4} \left( -R_b \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 - M_b x \right)$$

$$\begin{aligned} 281029193585,15 \ell_8 &= 130868563033104,00 \\ &= 465,67604 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell_7 &= X_4 - \ell_8 \\ &= 1960,369 - 465,676 \\ &= 1494,693 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.38 Pembebanan akibat momen

Mencari reaksi :

$$\sum M_f = 0$$

$$\begin{aligned} 0 &= R_a \times 5000,0 + A_1 \times 4559,5 - A_2 \times 1834,1 \\ &\quad - A_3 \times 918,7188 + A_4 \times 465,676 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0 &= R_a \times 5000,0 + 2,52E+11 \times 4559,5 - \\ &\quad 4,71E+11 \times 1834,1 - 2,72E+10 \times 918,7 + \\ &\quad 2,81E+11 \times 465,7 \end{aligned}$$

$$0 = 5000 R_a + 389415640116666$$

$$R_a = -77883128023,33 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$0 = R_b \times 5000,0 + A_4 \times 4534,3 - A_3 \times 4081,3 \\ - A_2 \times 3165,8572 + A_1 \times 440,475$$

$$0 = R_b \times 5000,0 + 2,81E+11 \times 4534,3 - \\ 2,72E+10 \times 4081,3 - 4,71E+11 \times 3165,9 + \\ 2,52E+11 \times 440,5$$

$$0 = 5000 R_b + -216119692616667$$

$$R_b = 43223938523,33 \text{ N}$$

Menghitung momen maksimal :

$$M_a = 0 \text{ Nmm}$$

$$M_b = R_a \times 440,48 \\ = -77883128023,33 \times 440,48 \\ = -34305572532421,90 \text{ Nmm}$$

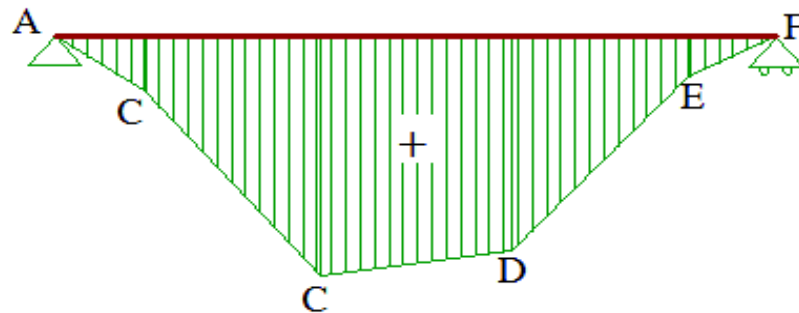
$$M_c = R_a \times 3165,9 + A_1 \times 2725,4 \\ = -7,79E+10 \times 3165,9 + 2,52E+11 \times 2725,4 \\ = 438931015829554,00 \text{ Nmm}$$

$$M_d = R_a \times 4081,3 + A_1 \times 3640,8 - A_2 \times 915,4241 \\ = -7,79E+10 \times 4081,3 + 2,52E+11 \times 3640,8 - \\ 4,71E+11 \times 915,42 \\ = 167028877878566,00 \text{ Nmm}$$

$$M_e = R_a \times 4534,3 + A_1 \times 4093,8 - A_2 \times 1368,5 \\ - A_3 \times 453,0427 \\ = -7,79E+10 \times 4534,3 + 2,52E+11 \times 4093,8 - \\ 4,71E+11 \times 1368,5 - 2,72E+10 \times 453,0 \\ = 20128352684704,50$$

$$\begin{aligned}
M_f &= R_a \times 5000,0 + A_1 \times 4559,5 - A_2 \times 1834,1 \\
&\quad - A_3 \times 918,7188 + A_4 \times 465,676 \\
&= -7,79E+10 \times 5000,0 + 2,515E+11 \times 4559,5 - \\
&\quad 4,707E+11 \times 1834,1 - 2,723E+10 \times 918,7 + \\
&\quad 2,81E+11 \times 465,67604 \\
&= 0 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Bidang momen digambarkan sebagai berikut :



$$M_x = 4,39E+14 \text{ Nmm}$$

*Gambar 4.39 Bidang Momen Kondisi Baru*

$$\begin{aligned}
E_k &= \left\{ E_s \times \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) + E_c \left( \frac{A_c}{A_s + A_c} \right) \right\} / 2 \\
&= \left\{ 23500 \times \left( \frac{9680,00}{9680 + 240000} \right) + 200000 \times \left( \frac{240000,00}{9680 + 240000} \right) \right\} / 2 \\
&= 96578,58 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

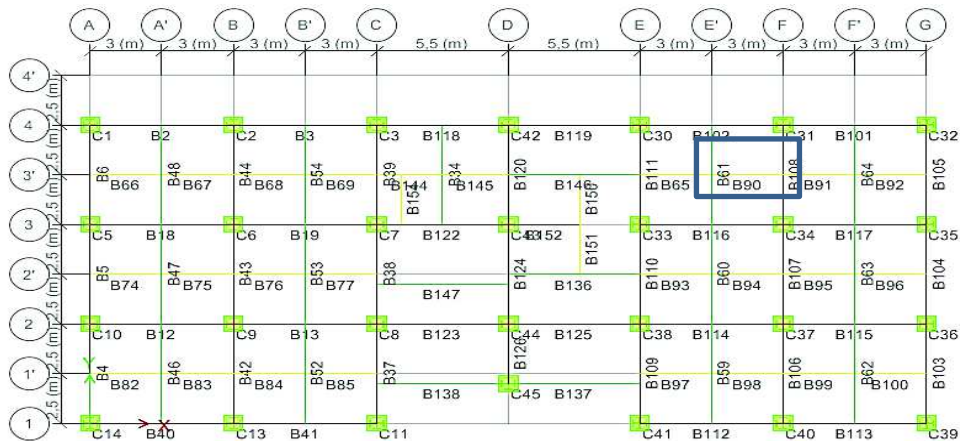
Maka, lendutan dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\Delta_i &= \frac{M_x}{E \quad I} \\
&= \frac{438931015829554,00}{96578,58 \times 953994541,7} \\
&= 2,3004902 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Maka : } \Delta = 13,889 \text{ mm} > \Delta_i = 2,3 \text{ mm}$$

### 4.3 Perencanaan Balok Cucu Line 3'

#### Data perhitungan (beam 61)



Gambar 4.40 Denah lantai 2 (balok yang ditinjau)

$$M_u \text{ Tumpuan} = 4483 \text{ kgm} = 44831200 \text{ Nmm}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = 3769 \text{ kgm} = 37690900 \text{ Nmm}$$

$$V_u = 3578 \text{ kg}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

#### A. Menentukan modulus plastis tampang yg diperlukan balok

sarang rawon ( $Z_g$ ) untuk momen lentur maksimum

$$Z_{g \text{ perlu}} = \frac{M_u}{\phi f_y} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$Z_{g \text{ perlu}} = \frac{448312000}{0,9 \times 2400} = 207551,85 \text{ cm}^3$$

#### B. Perbandingan tinggi balok sarang tawon dengan tinggi profil baja

baja sesungguhnya. Diasumsikan kenaikan tinggi balok mencapai

1,5 kali dari tinggi balok asli.

$$K' = \frac{d_g}{d_b} \quad (\text{Hal.4.7-15,pustaka 5})$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{Z_{gperlu}}{Z_b}$$

$$Z_b = \frac{Z_{gperlu}}{1,5} = \frac{207552}{1,5} = 138367,9 \text{ cm}^3$$

Digunakan profil castelated beam WF 450.1500 komposit dengan spesifikasi ebagai berikut:

Dari tabel baja diperoleh :

$$d : 300,0 \text{ mm} \quad w : 21,30 \text{ Kg/m}$$

$$b_f : 100,0 \text{ mm} \quad I_x : 4306,8 \text{ cm}^4$$

$$t_w : 5,5 \text{ mm} \quad I_y : 134,0 \text{ cm}^4$$

$$t_f : 8,0 \text{ mm} \quad i_x : 14,00 \text{ cm}$$

$$r : 11,0 \text{ mm} \quad i_y : 2,50 \text{ cm}$$

$$D_s : 205,0 \text{ mm} \quad Z_x : 287,10 \text{ cm}^3$$

$$D_{tee} : 47,5 \text{ mm} \quad Z_y : 26,80 \text{ cm}^3$$

$$A_{g \text{ maks}} : 32,7 \text{ Cm}^2 \quad A_{g \text{ min}} : 21,4 \text{ Cm}^2$$

Pemeriksaan persyaratan penampang profil

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{10}{2 \times 0,8} = 6,25$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(t_f + r)}{t_w} = \frac{30 - 2(0,8 + 1,1)}{0,55} = 55,636$$

Penampang kom (Tabel 7-5-1, Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

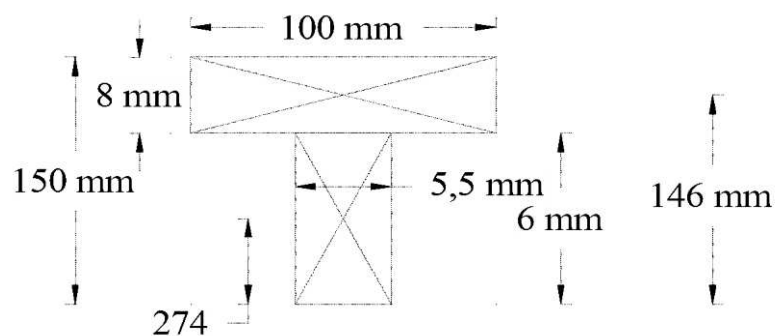
$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \longrightarrow 6,25 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \longrightarrow 55,6 < 108,444$$

Jadi, tekuk lokal pada flens maupun badan tidak terjadi sebelum kapasitas momen tercapai sehingga kapasitas momen penampang dihitung berdasarkan distribusi tegangan plastis.

$$\phi M_n = \phi M_p$$



$$Z_x = 2 \times \left\{ \left[ 10 \times 0,8 \times 14,60 \right] + \left[ 0,55 \times 14,20 \times 7,1 \right] \right\}$$

$$= 344,502 \text{ cm}^3$$

sehingga diperoleh nilai perbandingan tinggi ( $K'$ ) yang sebenarnya

$$K' = \frac{Z_{gperlu}}{Z_b}$$

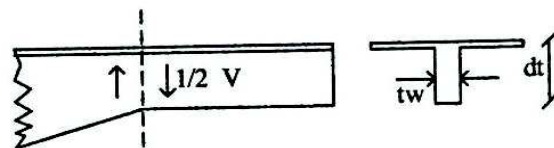
$$K' = \frac{207551,9}{344,502} = 602,4692218$$

### C. Menentukan tinggi pemotongan zig-zag

$$h' = 20,25 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan :

$$d_T = 4,75 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$



Gambar 4.41 Tinggi Penampang T Baja Castella

#### D. Dimensi balok sarang tawon

Tinggi balok sarang tawon :

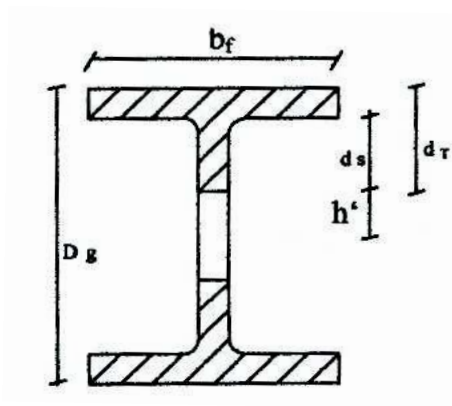
$$D_g = 30 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

Tinggi penampang T :

$$d_T = 4,75 \text{ cm} \quad (\text{Tabel Profil Baja Castella})$$

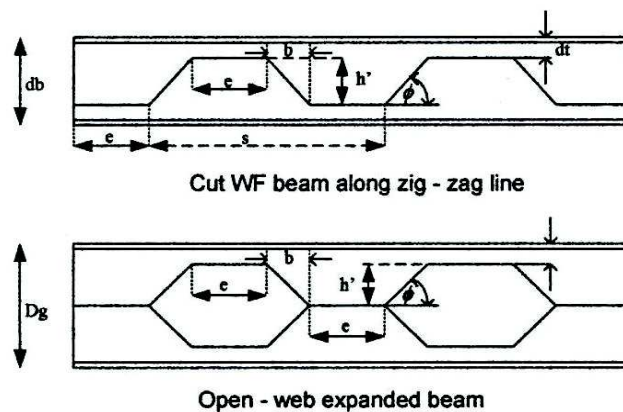
Tinggi Tangkai penampang T :

$$d_s = d_T - t_f = 4,75 - 0,80 = 4,0 \text{ cm}$$



Gambar 4.42 Penampang Melintang Sarang Tawon

Besar kemiringan sudut pemotongan zig-zag diambil  $\phi = 45^\circ$



Gambar 4.43 Pemotongan dan penyambungan Balok Sarang Tawon

**E. Menentukan tegangan kritis pada sisi miring badan balok Sarang**

Tawon berdasarkan pada faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap. (Ps 8.4.2.2 , Pustaka 4)

$$\lambda_G = \frac{bf}{2 \cdot tf} = \frac{10}{2 \cdot 0,8} = 6,25$$

Batas- batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,38 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}} = 11,241$$

$$\lambda_r = 0,38 \sqrt{\frac{kc \cdot E}{fy}}$$

$$\text{Dengan } kc = \frac{4}{\sqrt{\frac{d_g}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{30}{0,55}}} = 0,542$$

$$\text{maka } \lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{0,459 \times 2,1 \times 10^5}{240}} = 27,055$$

Untuk komponen struktur yang memenuhi

$$\lambda_G = 6,25 \leq \lambda_p = 11,241$$

$$\text{maka } f_c = f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

**F. Tegangan geser pada bagian sisi miring balok Sarang Tawon digunakan**

jika tegangan geser pada bagian sisi miring harus memenuhi :

$$\bar{\tau} = \frac{4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)^2}{3 \cdot \tan \phi} \cdot f_{cr} \leq f_y \quad (\text{Hal.4.7-15,Pustaka 5})$$

$$\bar{\tau} = \frac{4 \times \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)^2}{3 \times \tan 45} \times 2400 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau} = 1973,921 \text{ kg/cm}^2 \leq 2400 \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots \text{OK}$$



Merencanakan tegangan geser maksimum sepanjang garis netral badan balok Sarang Tawon, diasumsikan sebagai balok dengan badan yang utuh :

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= 1,16 \times \frac{V_u}{t_w \cdot D_g} = 1,16 \times \frac{3577,520}{0,6 \times 30} \\ &= 251,5105 \text{ kg/cm}^2 \leq \bar{\tau} \quad 1973,921 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

**G.** Setelah diketahui tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok Sarang Tawon, diperoleh rasio :

$$e = 10,125 \text{ (Tabel Profil Baja Castella)}$$

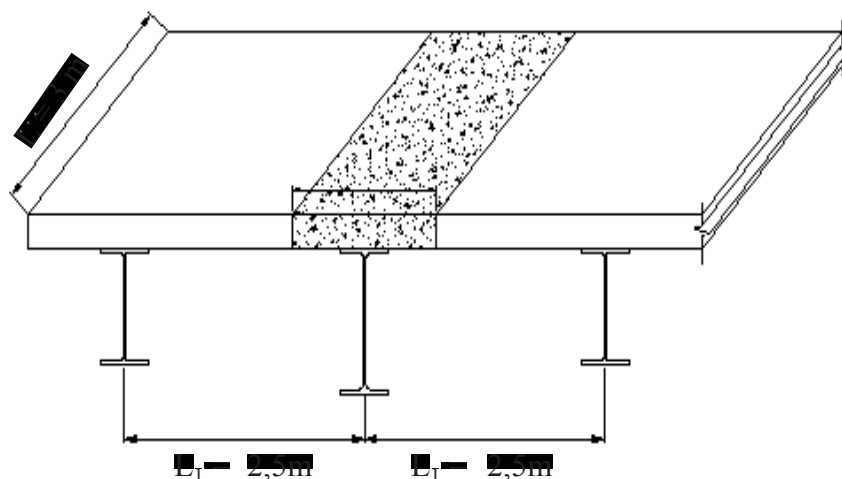
$$\text{Maka diambil } e = 10,125 \text{ cm}$$

Panjang (e) selalu konstan sepanjang bentang

Jarak interval lubang Sarang Tawon :

$$s = 43,74 \text{ cm (Tabel Profil Baja Castella)}$$

#### ❖ Menentukan Lebar Efektif



Gambar 4.44 Lebar efektif balok induk B61

### 1) Lebar Efektif ( $b_{eff}$ )

Perhitungan lebar efektif pelat beton ( $b_{eff}$ ) gelagar tengah, yakni

$$\bullet \quad b_{eff} \leq \frac{1}{4} L = \frac{1}{4} \times 300$$

$$\leq 75 \text{ cm}$$

$$\bullet \quad b_{eff} \leq (L_1 + L_2) / 2 = (250 + 250) / 2$$

$$\leq 250 \text{ cm}$$

Jadi lebar efektif yang diambil yang terkecil,  $b_{eff} = 75 \text{ cm}$

- Sifat elastisitas penampang komposit (beton ditransformasi menjadi baja)

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas Beton } (E_c) &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\text{Rasio Modulus Elastisitas } (n) = \frac{E_s}{E_c} = \frac{210000}{25742,960} = 8,2$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang beton} &= \frac{b_e}{n} = \frac{75}{8,158} = 9,194 \text{ cm} \\ \text{Komposit } (b_{tr}) & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang beton} &= b_{tr} \times t_s \\ \text{Komposit } (A_{tr}) &= 9,194 \times 12 = 110,327 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- ❖ Menentukan Sumbu Netral Pada Penampang Komposit terhadap serat atas pada penampang T balok sarang tawon

| Elemen   | Luas Penampang<br>$A(\text{cm}^2)$ | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | $Ay (\text{cm}^3)$ | $I_o (\text{cm}^4)$ |
|----------|------------------------------------|--|--------------------|---------------------|
| Pelat    | 110,327                            | 15,000                                     | 1654,905           | 1323,92             |
| 300.100  | 21,36                              | 27,000                                     | 576,72             | 4306,80             |
| $\Sigma$ | 131,687                            |  | 2231,625           | 5630,72             |

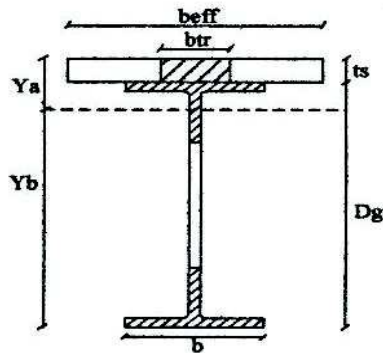
$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{2231,62}{131,687} = 16,946 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} y_b &= d_g + t_s - y_a \\ &= 30 + 12 - 16,946 \\ &= 25,054 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y'' &= y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ &= 16,946 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ &= 10,946 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$y' = y - y_a = 27 - 16,946 = 10,054 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_g &= I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ &= 1323,92 + \left[ 110,327 \times 10,9464 \right]^2 + 4306,8 + \\ &\quad \left[ 21,360 \times 10,054 \right]^2 \\ &= 21009,53 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

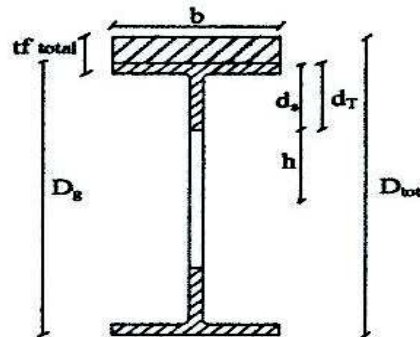


Gambar 4.45 Penampang Melintang Balok Komposit

❖ Pelat beton ditransformasikan menjadi baja

$$\begin{aligned} t_{f_{total}} &= \frac{b_{tr} \cdot t_s}{b} + t_f = \frac{9,194 \times 12}{10} + 0,8 \\ &= 11,833 \text{ cm} \end{aligned}$$

H. Menentukan ukuran dimensi balok Sarang Tawon :



Luas Penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 A_{Tatas} &= A_{fatas} + A_s \quad (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_{f\text{total}} + d_s \cdot t_w = [10 \times 11,833] + [4,0 \times 0,55] \\
 &= 118,327 + 2,173 = 120,499 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{Tbawah} &= A_{fbawah} + A_s \quad (\text{Hal.5.7.17,Pustaka 5}) \\
 &= b \cdot t_f + d_s \cdot t_w = [10 \times 0,8] + [4,0 \times 0,55] \\
 &= 8,000 + 2,173 = 10,173 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

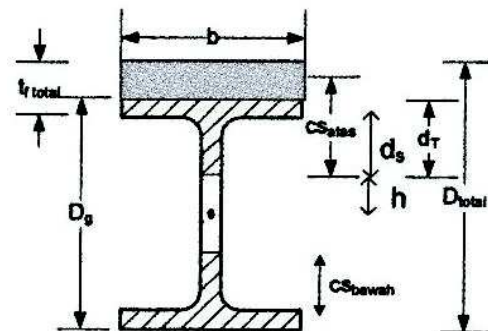
Modulus Kelembaman penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 S_{Tatas} &= A_{fatas} \left( d_s + \frac{t_{f\text{total}}}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 118,327 \times 4,0 + \frac{11,8327}{2} + \left( 2,173 \times \frac{4,0}{2} \right) \\
 &= 1171,746 \text{ cm}^3 \\
 S_{Tbawah} &= A_{fbawah} \left( d_s + \frac{t_f}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \\
 &= 8,000 \times 4,0 + \frac{0,8}{2} + \left( 2,173 \times \frac{4,0}{2} \right) \\
 &= 39,091 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Modulus inersia penampang T balok Sarang Tawon :

$$\begin{aligned}
 I_{T \text{ atas}} &= A_{f \text{ atas}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_{f \text{ total}} + \frac{t_{f \text{ total}}^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 118,33 \times \left( 3,95^2 + 3,95 \times 11,833 + \frac{11,833^2}{3} \right) + \\
 &\quad 2,173 \times \frac{3,95^2}{3} \\
 &= 12910,425 \text{ cm}^4 \\
 I_{T \text{ bawah}} &= A_{f \text{ bawah}} \left( d_s^2 + d_s \cdot T_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \\
 &= 8,00 \times \left( 3,95^2 + 4,0 \times 0,8 + \frac{0,800^2}{3} \right) + \\
 &\quad 3,950 \times \frac{3,95^2}{3} \\
 &= 170,643 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Sehingga didapat :



Gambar 4.46 dimensi penampang komposit melintang

Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok Sarang Tawon :

$$CS_{\text{ atas}} = \frac{S_{T \text{ atas}}}{A_{T \text{ atas}}} = \frac{1171,746}{120,499} = 9,724 \text{ cm}$$

$$CS_{bawah} = \frac{S_{tbawah}}{A_{tbawah}} = \frac{39,091}{10,173} = 3,843 \text{ cm}$$

❖ Modulus tahanan plastis tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} Z_{atas} &= \left[ A_{fatas} \left( CS_{atas} - \frac{t_{ftotal}}{2} \right) \right] + \left[ A_s \cdot \left( CS_{atas} - \frac{d_s}{2} \right) \right] \\ &= \left[ 118,33 \left( 9,724 - \frac{11,8}{2} \right) \right] + \left[ 3,950 \left( 9,724 - \frac{3,95}{2} \right) \right] \\ &= 481,166 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{bawah} &= \left[ A_{fbawah} \left( d_s + t_f - CS_{bawah} - \frac{t_f}{2} \right) \right] + \\ &\quad \left[ A_s \cdot \left( CS_{bawah} - \frac{d_s}{2} \right) \right] \\ &= \left[ 8,00 \left( 3,950 + 0,55 - 3,843 - \frac{0,6}{2} \right) \right] + \\ &\quad \left[ 3,95 \left( 3,843 - \frac{0,55}{2} \right) \right] \\ &= 45,975 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Momen Inersia tangkai penampang T :

$$\begin{aligned} I_{tatas} &= I_{Tatas} - (CS_{atas} \cdot S_{Tatas}) \\ &= 12910,425 - \left[ 9,724 \times 1171,746 \right] \\ &= 1516,281 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{tbawah} &= I_{Tbawah} - (CS_{bawah} \cdot S_{Tbawah}) \\ &= 170,643 - \left[ 3,843 \times 39,091 \right] \\ &= 20,42635 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

❖ Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$\begin{aligned} SS_{atas} &= \frac{I_{tatas}}{CS_{atas}} = \frac{1516,281}{9,724} = 155,931 \text{ cm}^3 \\ SS_{bawah} &= \frac{I_{tbawah}}{CS_{bawah}} = \frac{20,426}{3,843} = 5,316 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

❖ Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$d = 2h' + C_{satas} + S_{sbawah} = 2 \cdot 20,3 + 9,724 + 5,316 \\ = 55,540 \text{ cm}$$

❖ Menentukan Sumbu Netral Pada penampang Komposit terhadap serat atas pada penampang dinding penuh balok sarang tawon

| Elemen  | Luas Penampang<br>A(cm <sup>2</sup> ) | Statis Momen Terhadap<br>serat atas y (cm) | Ay (cm <sup>3</sup> ) | I <sub>o</sub> (cm <sup>4</sup> ) |
|---------|---------------------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| Pelat   | 110,327                               | 15,000                                     | 1654,905              | 1323,92                           |
| 300.100 | 32,66                                 | 27,000                                     | 881,82                | 4306,8                            |
| Σ       | 142,987                               |  | 2536,725              | 5630,72                           |

$$y_a = \frac{\sum A_y}{\sum A} = \frac{2536,72}{142,987} = 17,741 \text{ cm}$$

$$y_b = d_g + t_s - y_a \\ = 30 + 12 - 17,741 \\ = 24,259 \text{ cm}$$

$$y'' = y_a - (\frac{1}{2} \cdot t_s) \\ = 17,741 - (\frac{1}{2} \cdot 12) \\ = 11,741 \text{ cm}$$

$$y' = y - y_a = 27 - 17,741 = 9,259 \text{ cm}$$

$$I_{g'} = I_{o_{plat}} + A_{plat} (y'')^2 + I_{o_{profil}} + A_{profil} (y')^2 \\ = 1323,92 + \left[ 110,327 \times 11,7409 \right]^2 + 4306,8 + \\ \left[ 32,660 \times 9,259 \right]^2 \\ = 23639,23 \text{ cm}^4$$

Modulus penampang dinding penuh komposit :

❖ Modulus terhadap serat atas dari beton :

$$S_c = \frac{I_g'}{y_a} = \frac{23639,227}{17,741} = 1332,467 \text{ cm}^3$$

❖ Modulus terhadap serat bawah dari beton :

$$S_s = \frac{I_g'}{y_b} = \frac{23639,227}{24,259} = 974,450 \text{ cm}^3$$

**I. Pemeriksaan kriteria penampang untuk penampang balok castela**

$$\lambda_f = \frac{bf}{2tf} = \frac{10}{2 \times 0,8} = 6,25$$

$$\lambda_w = \frac{h - 2(tf + r)}{tw} = \frac{30 - 2(0,8 + 1,1)}{0,55} = 55,636$$

Penampang kompak (Tabel 7-5-1, Pustaka 4)

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

$$\text{Sehingga : } \lambda_f < \lambda_{pf} \rightarrow 6,25 < 10,973$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw} \rightarrow 55,6 < 108,444$$

jadi penampang berbadan kompak, dan  $M_n$  dihitung berdasarkan distribusi

tegangan plastik (PS.8.2.3, Pustaka 4), dimana :

$$\phi M_n = \phi M_p$$

**J. Pemeriksaan ketebalan pelat badan bagian T yang merupakan bagian yang**

mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{h}{t_w} \leq 6,36 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Ps.8.7.1, pustaka 4})$$

$$h = D_g - (2 \cdot t_f)$$



$$\frac{30 - (2 \cdot 0,8)}{0,55} \leq 6,36 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}}$$

$$51,63636 \leq 188,13 \quad \text{maka tidak diperlukan pelat pegaku vertikal}$$

**K.** Pemeriksaan ketebalan pelat sayap bagian tumpuan yang mengalami pengaruh tekuk lateral

Dimisalkan tidak ada pengekang (pengaku) lateral diantara tumpuan sehingga

$$L = 3 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 2, pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } r_y = \sqrt{\frac{I_g'}{A}} = \sqrt{\frac{23639,23}{142,987}} = 12,858 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \times 12,858 \times \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{2400}} = 669,4 \text{ cm}$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} \quad (\text{Hal 2, pustaka 1})$$

$$\text{Dengan } x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$x_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_g}$$

$$J \approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w)$$

$$I_w = I_g \frac{h^2}{4}$$

$$G = 80.000 \text{ Mpa} \approx 80.000 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$fL = 0,7 \cdot f_y = 0,7 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Maka } J \approx \frac{1}{3} (h \cdot t_f^3 + 2 \cdot b \cdot t_w) = \frac{1}{3} \left( 30 \times 0,8^3 + 2 \times 10 \times 0,5^3 \right) \\ = 8,787 \text{ cm}^4$$

$$x_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{\pi}{1332,5} \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 8,787 \times 143}{2}} \\ = 76554,934 \text{ kg/cm}^2$$

$$x_2 = 4 \left( \frac{S_x}{GJ} \right)^2 \frac{I_{g \cdot h}^2}{4 \cdot I_g} = 4 \left( \frac{1332,5}{8 \cdot 10^5 \cdot 8,787} \right)^2 \frac{30^2}{4} \\ = 0,323 \text{ e-3 cm}^4/\text{kg}^2$$

$$L_r = \frac{x_1 \cdot r_y}{fL} \sqrt{1 + \sqrt{1 + x_2 \cdot (fL)^2}} = \frac{76554,934 \times 12,858}{1680} \\ \sqrt{1 + \sqrt{1 + 0,3 \cdot 10^{-5} \times (1680)^2}} \\ = 1954,468 \text{ cm}$$

Karena  $L = 300 \text{ cm} < L_p = 669,3990 \text{ cm}$  maka termasuk

bentang pendek sehingga pengekang (pengaku) lateral tidak diperlukan

serta kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur  $M_n = M_p$

**L. Pemeriksaan tegangan** yang terjadi dengan persamaan distribusi, dimana momen lentur perlu ( $M_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat sayap dan kuat geser perlu ( $V_u$ ) dianggap hanya dipikul oleh plat badan (Ps 8.9.2, pustaka 4). Dan momen lentur nominal pelat sayap ( $M_n$ ) dan kuat geser nominal pelat badan ( $V_n$ ) harus memenuhi :

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

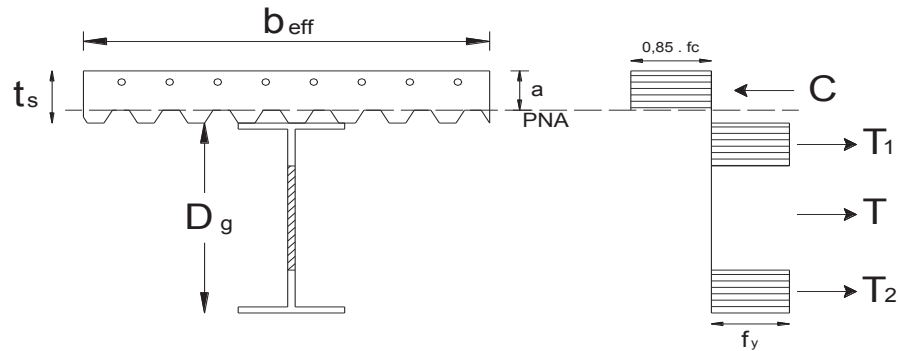
$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

Dimana :  $M_u \text{ tumpuan} = 4483,120 \text{ kgm}$

$$M_u \text{ lapangan} = 3769,090 \text{ kgm}$$

$$V_u = 3577,520 \text{ kgm}$$

#### ❖ Kapasitas Momen Positif Penampang



Gambar 4.47 Garis netral penampang jatuh dalam pelat

Apabila gaya tekan C disamakan dengan gaya tarik akan diperoleh :

$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_{eff}} = \frac{21,360 \times 2400}{0,85 \times 300 \times 100}$$

$$= 2,010 \text{ cm} < t_s = 12 \text{ cm}$$

Jadi, garis netral berada di dalam pelat beton

Gaya tekan C adalah :

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b_{eff} = 0,85 \times 300 \times 2,010 \times 100$$

$$= 51264 \text{ kg}$$

Gaya tarik T adalah :

$$T_1 = T_2 = A_{s1} \cdot f_y = A_{s2} \cdot f_y = \{(b_f \cdot t_f) + (d_w \cdot t_w)\} \cdot f_y$$

$$= \{(10 \times 0,8) + (4,0 \times 0,55)\} \times 2400$$

$$= 24414 \text{ kg}$$

Mencari titik tengah antara T<sub>1</sub> dan T<sub>2</sub> sejauh x dari titik A. Apabila momen diambil terhadap titik A, dengan pemisahan jarak R<sub>(T1+T2)</sub> terhadap A = x

$$R_{(T1+T2)} = T_1 + T_2 = 24414 + 24414 = 48828 \text{ kg}$$

$$R_{(T1+T2)} \cdot x = (T_1 \cdot 4,65) + (T_2 \cdot 61,31)$$

$$48828 \cdot x = (24414 \cdot 4,65) + (24414 \cdot 61,31)$$

$$x = 32,980 \text{ cm}$$

Jadi, besarnya  $R_{(T1+T2)} = 48828$  kg dan letaknya adalah

32,980 cm dari titik A

$$\text{Panjang lengan } d_1 = x + \left( t_s - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 32,980 + \left( 12 - \frac{2,01}{2} \right) = 43,975 \text{ cm}$$

Kekuatan momen nominal  $M_n$  adalah :

$$M_{n1} = C \cdot d_1 = 51264 \cdot 43,975$$

$$= 2254325,353 \text{ kgcm} = 22543,254 \text{ kgm}$$

$$M_{n2} = T \cdot d_1 = 48828 \cdot 43,975$$

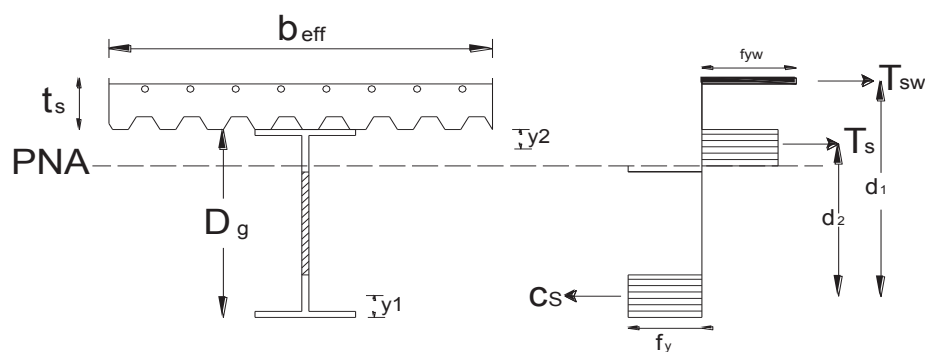
$$= 2147202,683 \text{ kgcm} = 21472,027 \text{ kgm}$$

Maka diambil nilai terkecil yaitu  $M_n = 21472,027 \text{ kgm}$

$$\phi \cdot M_n = 0,85 \cdot 21472,027$$

$$= 18251,223 \text{ kgm} > M_u = 3769,090 \text{ kgm} \dots \text{OK}$$

#### ❖ Kapasitas Momen Negative Penampang



Gambar 4.48 Garis netral penampang jatuh pada badan profil

Batang tulangan wiremesh meambah kekuatan tarik nominal  $T_{sw}$  :

Digunakan tulangan  $\emptyset 8 - 100$

$$T_{sw} = \left( \frac{1000}{s} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \right) \times f_{yw}$$

$$\begin{aligned} T_{sw} &= \left( \frac{1000}{100} \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,8^2 \right) \times 4910 \\ &= 24690,286 \text{ kg} \end{aligned}$$

Steel Deck menambah kekuatan tarik nominal  $T_{sd}$  :

$$\begin{aligned} T_{sd} &= 0,750 \times 1000 \times 1000 \times 550 \\ &= 412500000 \text{ N} = 41250 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dimisalkan gaya tekan nominal maksimum dalam penampang profil balok :

$$C_{maks} = A_s \cdot F_y$$

Dimana :

$$\begin{aligned} A_s &= \{ (D_g - 2t_f) \cdot t_w \} + \{ 2 \cdot b_f \cdot t_f \} \\ &= \{ (30 - 2 \cdot 0,8) \cdot 0,55 \} + \{ 2 \cdot 10 \cdot 0,8 \} \\ &= 31,620 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$C_{maks} = A_s \cdot f_y = 31,620 \times 2400 = 75888 \text{ kg}$$

Karena  $C_{maks}$  lebih besar dari  $T_{sw}$ , maka PNA terletak di dalam penampang

baja balok sarang tawon. Dimana persyaratan keseimbangan gaya dapat

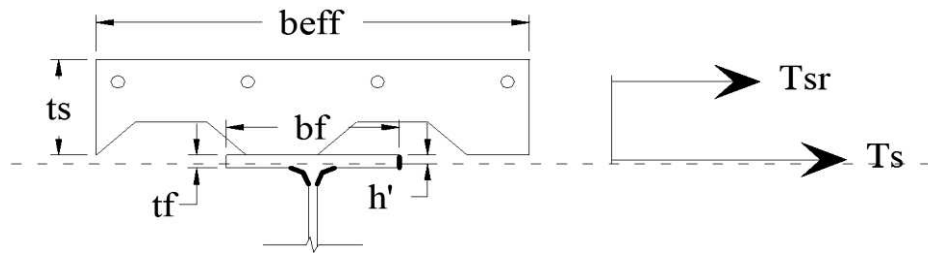
dinyatakan :

$$\begin{aligned} T_{sw} + T_s + T_{sd} &= C_{maks} - T_s \\ 2 \cdot T_s &= C_{maks} - T_{sw} \end{aligned}$$

$$2 T_s = 75888 - 24690$$

$$T_s = 25598,86 \text{ kg}$$

Misalkan PNA berada di dalam badan penampang profil balok, maka dari tepi bawah flens baja ke garis netral adalah :



$$A = (b_f \cdot t_f) + (h_l \cdot t_w)$$

$$h_l = \frac{A - (b_f \cdot t_f)}{t_w}$$

dimana :

$$A = \frac{T_s}{f_y} = \frac{25598,85714}{2400} = 10,666 \text{ cm}^2$$

$$h_l = \frac{10,666 - (10 \times 0,8)}{0,55} = 4,848 \text{ cm}$$

Sehingga garis netral (GN) dari serat atas pelat beton adalah :

$$\begin{aligned} y &= h_l + t_f + t_s \\ &= 30 + 0,8 + 12 = 42,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y1 dari gaya tekan Cs didalam penampang baja

diukur dari dasar dasar penampang baja

| Elemen             | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm | A . Y<br>cm <sup>3</sup> |
|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|
| Profil WF          | 31,620                      | d/2 = 15         | 474,3                    |
| Flens = -(tf x bf) | -8                          | ya = 29,6        | -236,8                   |

|                    |      |                        |          |
|--------------------|------|------------------------|----------|
| Badan = -(h' x tw) | -2,7 | y <sub>b</sub> = 28,96 | -77,2065 |
| TOTAL              | 21,0 |                        | 160,2935 |

$$Y_1 = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{160,2935}{21,0} = 7,6498487 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n1} &= T_{sw} \cdot d_1 \\
 &= 24690,28571 \times (h - y_1 + t_s - 25) \\
 &= 24690,28571 \times (30 - 7,65 + 12 - 25) \\
 &= 230857,9079 \text{ kgcm} = 2308,579079 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Tempatkan titik berat y2 dari gaya tekan Ts diukur dari sisi atas flens atas profil Wf

| Elemen                 | Luas (A)<br>cm <sup>2</sup> | Lengan (Y)<br>cm       | A . Y<br>cm <sup>3</sup> |
|------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|
| Profil WF              | 31,62                       | d/2 = 15               | 474,3                    |
| Flens = -(tf x bf)     | -8                          | y <sub>a</sub> = 29,6  | -236,8                   |
| Badan = -(d-h'-2tf)*tw | -15,4                       | y <sub>c</sub> = 15,24 | -234,022                 |
| TOTAL                  | 8,3                         |                        | 3,477919                 |

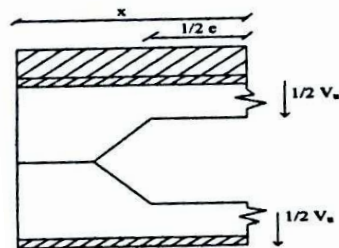
$$Y_2 = \frac{\Sigma A \cdot y}{\Sigma A} = \frac{3,477919}{8,3} = 0,4207184 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{n2} &= T_s \cdot d_2 \\
 &= 25598,85714 \times (D_g - (y_1 + y_2)) \\
 &= 25598,85714 \times (30 - (7,6498 + 0,4207)) \\
 &= 561368,4212 \text{ kgcm} = 5613,684212 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = M_{n1} + M_{n2}$$

$$\begin{aligned}
&= 2308,579079 + 5613,684212 \\
&= 7922,263291 \text{ kgm} \\
\phi M_n &= 0,85 \times 7922,263291 \\
&= 6733,924 \text{ kgm} > M_u = 4483,120 \text{ kgm} \dots \text{OK}
\end{aligned}$$

Kuat geser nominal yang bekerja pada penampang T:



Kuat geser nominal pada penampang T :

$$\begin{aligned}
V_{nTatas} &= \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 481,166 \times 2400}{10,125} \\
&= 456216,197 \text{ kg} \\
V_{nTbawah} &= \frac{4 \cdot Z \cdot f_y}{e} = \frac{4 \times 45,975 \times 2400}{10,125} \\
&= 43591,067 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
V_n &= V_{nTatas} + V_{nTbawah} \\
&= 456216,197 + 43591,067 = 499807,264 \text{ kg} \\
V_u &\leq \phi \cdot V_n \\
3578 \text{ kg} &\leq 0,85 \cdot 499807,264 \\
3578 \text{ kg} &\leq 424836,1745 \text{ kg} \dots \text{OK}
\end{aligned}$$

**M.** Pemeriksaan tegangan yang terjadi dengan persamaan interaksi geser dan dan lentur, dimana momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang (Ps 8.9.3, Pustaka 4 ). Maka momen lentur terfaktor ( $M_u$ )



selain harus kurang dari atau sama dengan momen lentur penampang ( $M_n$ ) dan kuat geser terfaktor ( $V_u$ ) harus kurang dari atau sama dengan kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja ( $V_n$ ), balok juga harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu :

$$\frac{M_u}{\phi \cdot M_n} + 0,625 \cdot \frac{V_u}{\phi \cdot V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{4483}{6733,924} + 0,625 \cdot \frac{3578}{424836,174} \leq 1,375$$

$$0,671 \leq 1,375 \text{ ..... OK}$$

**N.** Pemeriksaan kuat geser nominal horizontal pelat badan terhadap kuat geser horizontal yang bekerja pada bagian utuh balok sarang tawon sepanjang garis netral :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

Dimana :

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 3578 \times \frac{43,74}{2 \times 55,540}$$

$$= 1408,731 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,6 \cdot t_w \cdot e \cdot f_y = 0,65 \times 0,55 \times 10,125 \times 2400$$

$$= 8687,250 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$1408,731 \text{ kg} \leq 0,85 \times 8687,250 \text{ kg}$$

$$1408,731 \text{ kg} \leq 7384,163 \text{ kg ..... OK}$$

**O.** Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada sisi miring badan utuh karena bekerjanya gaya geser horizontal :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$V_{uh} = V_u \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot d} \right) = 3578 \times \frac{43,74}{2 \times 55,540}$$

$$= 1408,731 \text{ kg}$$

$$V_{nh} = 0,65 \times \frac{4 \cdot tw \cdot e \cdot \left( \frac{\pi \cdot \phi}{180} \right)}{3 \cdot \tan \phi} f_y$$

$$= 0,65 \times \frac{4 \times 0,55 \times 10,125 \left( \frac{\pi \cdot 45}{180} \right)}{3 \tan 45} 2400$$

$$= 14728,057 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_{uh} \leq \phi \cdot V_{nh}$$

$$1408,731 \text{ kg} \leq 0,85 \times 14728,057 \text{ kg}$$

$$1408,731 \text{ kg} \leq 12518,848 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

**P. Pemeriksaan kuat nominal pelat badan terhadap tekuk pada bagian badan**

utuh balok Sarang Tawon karena adanya beban yang bekerja :

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi :

$$\frac{h}{tw} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} \quad (\text{hal 45, Pustaka 4})$$

Dimana :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

Dengan jarak antara pengaku vertikal ( $a$ ) direncanakan = 200 cm

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left( \frac{200}{30} \right)^2} = 5,113$$

maka :

$$\frac{30}{0,55} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5,113 \times 2,1 \times 10^5}{240}}$$

$$54,545 \leq 73,572 \quad \dots \text{OK}$$

maka :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$\text{Dimana : } V_u = 3578 \text{ kg}$$

$$V_n = 0,65 \cdot (Dg - 2tf) \cdot tw \cdot fy$$

$$= 0,65 \times (30 - 2 \times 0,8) \times 0,55 \times 2400$$

$$= 24367,2 \text{ kg}$$

Sehingga :

$$V_u \leq \phi \cdot V_n$$

$$3577,520 \text{ kg} \leq 0,85 \times 24367,200 \text{ kg}$$

$$3577,520 \text{ kg} \leq 20712,120 \text{ kg} \dots \text{OK}$$

**Q.** Perencanaan pengaku vertikal untuk menahan gaya tekuk lokal pelat

$$\text{badan Direncana} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Apabila } \frac{1100}{\sqrt{fy}} \leq \frac{h}{t_w} \leq \frac{1400}{\sqrt{fy}} \text{ maka } c_v = \frac{1100}{\frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{fy}} \quad (\text{Ps 11.11.2, Pustaka 9})$$

$$= \frac{1100}{\sqrt{240}} \leq \frac{30}{0,55} \leq \frac{1400}{\sqrt{240}}$$

$$= 71,005 \leq 54,5 \leq 90,37$$

$$\text{Maka } C_v = \frac{1100}{\frac{30}{0,55} \sqrt{240}} = 1,302$$

$$A_{s \text{ pengaku}} \leq 0,5 D A_w (1 - C_v) \left\{ \left( \frac{a}{h} \right) - \frac{\left( \frac{a}{h} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{a}{h} \right)^2}} \right\} \quad (\text{Hal 52, Pustaka 9})$$

Dimana D = 1 untuk sepasang pengaku

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 0,51 \times 1 \times 30 - (2 \times 0,8) \times (1 - 1,302)$$

$$\left\{ \left( \frac{200}{30} \right) - \frac{\left( \frac{200}{30} \right)^2}{\sqrt{1 + \left( \frac{200}{30} \right)^2}} \right\}$$

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 1,1467 \text{ cm}^2$$

Dicoba ts = 1 cm dan h = 30

$$A_{s \text{ pengaku}} \geq 2 \times (1 \times 30) = 60 \text{ cm}^2 \geq 1,1 \text{ cm}^2 \dots \text{OK}$$

Pengecekan kekakuan minimum untuk pengaku vertikal :

$$\text{Untuk } \left( \frac{a}{h} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s \geq \frac{1,5 \cdot h^3 \cdot t_w^3}{a^2} \quad (\text{Hal 52, Pustaka 4})$$

$$\left( \frac{200}{30} \right) \geq \sqrt{2} \text{ maka } I_s = \frac{1}{12} \times 30 \times 1^3 \geq \frac{1,5 \times 30^3 \times 0,55^3}{200^2}$$

$$6,66667 \geq 1,4142 \text{ maka } 2,500 \text{ cm}^4 \geq 0,168 \text{ cm}^4 \dots \text{OK}$$

Persyaratan profil dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang

$$\text{Apabila } 1 \leq a/h \leq 3 \text{ maka } (h/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (\text{Hal 43, Pustaka 4})$$

$$1 \leq \frac{200}{30} \leq \text{ maka } \left( \frac{30}{0,6} \right) \leq 7,07 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{240}}$$

$$1 \leq 6,6667 \leq \text{ maka } 55 \leq 209,13342 \dots \text{OK}$$

**R. Perhitungan *shear connector***

Digunakan shear conector stud baja berkepala dengan diameter

Diameter maksimum stud yang diijikan :

$$\begin{aligned} 2,5 t_f &= 2,5 \times 8 \\ &= 20,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka digunakan stud dengan diameter :  $5/8 \text{ in} = 15,875 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Luas stud (A}_{sa}) &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,875^2 \\ &= 197,83 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kuat nominal satu buah stud ( $Q_n$ ) :

$$\begin{aligned} Q_n &= 0,5 \times A_{sa} \times \sqrt{f_c \times E_c} \leq A_{sa} \times f_u \\ &= 0,5 \times 197,83 \times \sqrt{30 \times 25743} \leq 197,83 \times 410 \\ &= 86927,462 \text{ N} > 81111,229 \text{ N} \text{ maka dipakai :} \end{aligned}$$

$$Q_n = 81111,23 \text{ N}$$

Gaya geser maksimum pada daerah momen positif adalah yang terkecil dari :

- Kehancuran beton

$$\begin{aligned} V_h &= 0,85 \times f_c \times b_{eff} \times t_s \\ &= 0,85 \times 30 \times 750 \times 120 \\ &= 2295000 \text{ N} \end{aligned}$$

- Leleh tarik dari penampang baja

$$\begin{aligned} V_h &= f_y \times A_s \\ &= 240 \times 3266 \\ &= 783840 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $V_h = 783840 \text{ N}$

---

$$N = \frac{V_h}{Q_n} = \frac{783840}{81111,23} = 9,6637668 \approx 10 \text{ buah}$$

Maka, digunakan stud dengan jumlah : 10 buah pada 1/2 bentang  
dan sejumlah 20 buah stud sepanjang bentang balok.

Pendetailan jarak stud menurut SNI 1729 : 2015 pasal I8 (3e) yakni :

$$\begin{aligned} S_{\min} &= 4 \ d \\ &= 4 \times 15,875 \\ &= 63,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 32 \times d \\ &= 32 \times 15,875 \\ &= 508 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika  $b_f = 100 \text{ mm}$ , maka

$$n = \frac{b_f}{S_{\min}} = \frac{100}{63,5} = 1,5748 \approx 1 \text{ buah}$$

dengan n adalah jumlah stud pada penampang melintang balok.

Dengan demikian digunakan 1 stud dalam 1 baris melintang balok  
dan terdapat 20 baris stud sepanjang bentang balok

$$\text{Panjang bentang (L)} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar stud (S)} = \frac{3000}{20} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Maka digunakan } S = 150 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 150 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

Jarak stud dlm 1 baris melintang ( $S_a$ ) yakni :

$$S_a = \frac{b_f}{n} = \frac{100}{1} = 100 \text{ mm}$$

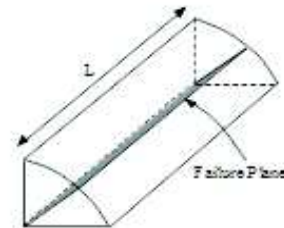
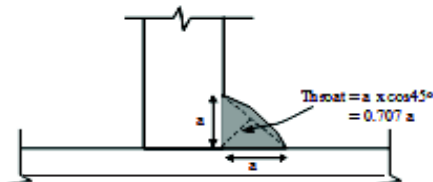
Syarat :

$$S_{\min} = 63,5 \text{ mm} < S = 75 \text{ mm} < S_{\max} = 508 \text{ mm}$$

*Perhitungan las fillet pada penghubung geser :*

Tebal las rencana (a), disyaratkan sebagai berikut :

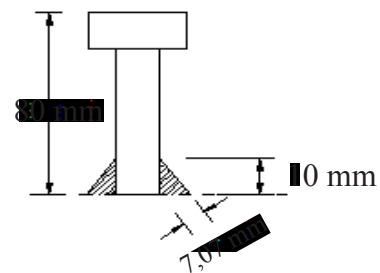
Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J2b tabel J2.4, tebal las minimum ( $a_{\min}$ ) pada bagian yang disambung dengan ketebalan paling tipis ( $t$ ) = 8 mm yang mana  $6 \text{ mm} > t = 5 < 13 \text{ mm}$ , yakni : 5 mm



Dicoba las fillet  $\frac{1}{2}$  in, electrode = 80 Ksi, tebal efektif las :

tebal efektif ( $t_e$ ) =  $a \times \cos 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Throat} &= 10 \times \cos 45 \\ &= 7,0711 \text{ mm} \end{aligned}$$



$$F_{EXX} = 80 \times 6,895 = 551,6 \text{ MPa}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= 0,75 \times t_e \times (0,6 \times F_{EXX}) \\ &= 0,75 \times 7,0711 \times (0,6 \times 551,6) \\ &= 1755,1805 \text{ N/mm panjang las} \end{aligned}$$

Panjang keliling konektor (K) :

$$\begin{aligned} K &= \pi \times d \\ &= 3,14 \times 15,875 \\ &= 49,8475 \text{ mm} \end{aligned}$$

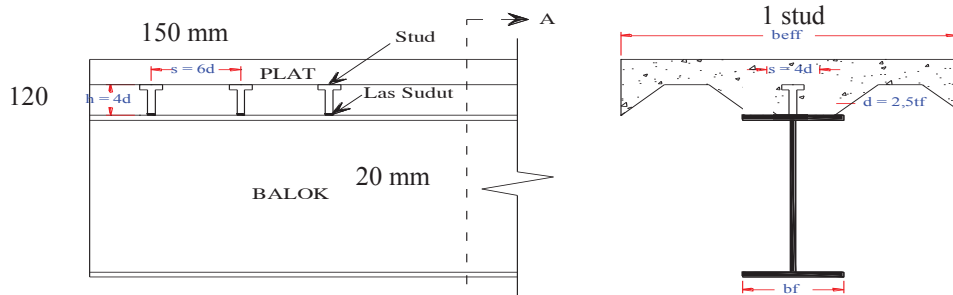
Las sekeliling konektor

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} = \frac{Q_n}{K} = \frac{81111,23}{49,8475} = 1627,1875 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi R_{nw \text{ perlu}} < \phi R_{nw}$$

$$1627,1875 \text{ N} < 1755,180452 \text{ N}$$



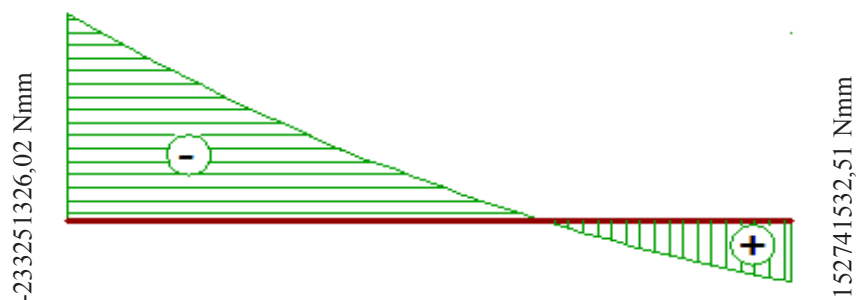
Gambar 4.49 Letak stud pada penampang profil

#### S. Kontrol lendutan

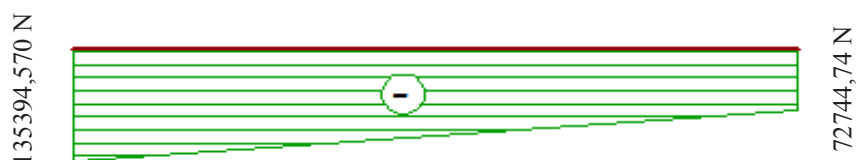
Lendutan yang diijinkan

$$\Delta = \frac{1}{360} L = \frac{1}{360} \times 4000 = 11,111 \text{ mm}$$

Besar lendutan yang terjadi (dihitung menggunakan metode momen area) sebagai berikut :



Gambar 4.50 Bidang momen B61 akibat kombinasi beban ....



Gambar 4.51 Gaya lintang B61 akibat kombinasi beban ....



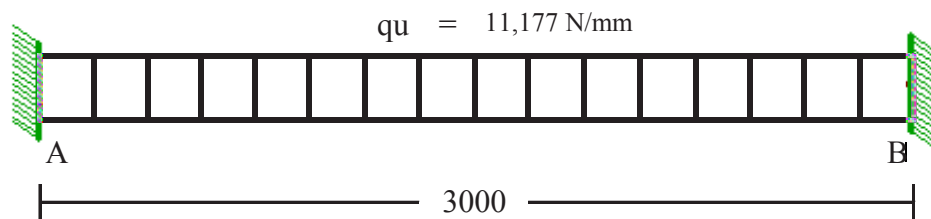
Pembebanan pada balok B61

$$q_d = 9,314 \text{ N/mm}$$

$$q_t = 0,000 \text{ N/mm}$$

Beban merata terfaktor ( $q_u$ ) :

$$\begin{aligned} 1,2 D + 1,6 L &= 1,2 \times 9,3 + 1,6 \times 0 \\ &= 11,18 \text{ N/mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.52 Beban merata B61 akibat beban terfaktor

Menghitung jarak dari A ke titik  $M = 0$

Dimana  $x < 3000 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} M_x &= R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a \\ &= 135394,6 \cdot x - \frac{1}{2} \cdot 11,177 \cdot x^2 + -2,33\text{E}+08 \\ &= 5,588 \cdot x^2 - 135394,6 \cdot x + 2,33\text{E}+08 \end{aligned}$$

Menghitung nilai  $x$  :

$$\begin{aligned} x_{a,b} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ x_{a,b} &= \frac{135394,57 \pm \sqrt{135394,57^2 - 4 \times 5,588 \times 233251326}}{2 \times 5,5884} \\ x_{a,b} &= \frac{135394,57 \pm \sqrt{13117682744,16}}{11,177} \\ x_a &= \frac{135394,57 + 114532,4528}{11,1768} \\ &= 22361,232 \text{ mm} > 3000 \text{ mm} \quad \text{(Tidak Memenuhi)} \end{aligned}$$

$$x_b = \frac{135394,57 - 114532,4528}{11,1768}$$

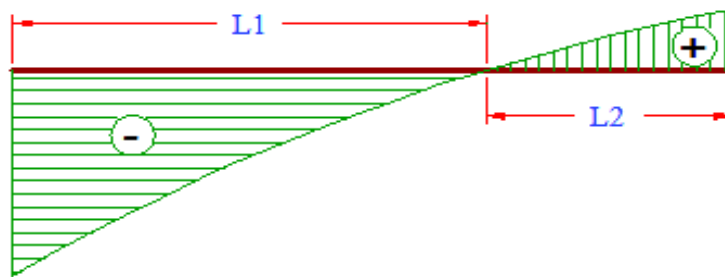
$$= 1866,555 \text{ mm} < 3000 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$\text{Maka } L_1 = 1866,555 \text{ mm}$$

$$L_2 = L - L_1$$

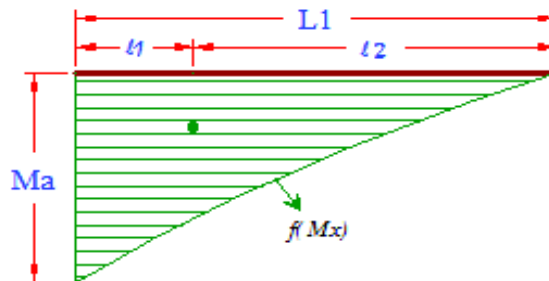
$$= 3000 - 1866,555$$

$$= 1133,445 \text{ mm}$$



Gambar 4.53 Bidang momen B61

1) Menentukan Gaya A1 dan titik berat terhadap A1



Gambar 4.54 Bidang momen untuk mencari gaya A1

$$M_x = R_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot x + M_a$$

$$A1 = \int f(MX) dx$$

$$= \int_{1866,56}^{0,0} \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right) dx$$

$$= \frac{1}{2} R_a x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_a \cdot x \Big|_{1866,56}^0$$

$$= 211631250463,90 \text{ Nmm}$$



$$= -70857237403,90 \text{ Nmm}$$

Titik berat A1 terhadap A ( $\ell_1$ )

$$A_2 \ell = \int x \text{ (MX)}$$

$$A_2 \ell = \int x \text{ (MX)}$$

$$A_2 \ell = \int_{3000,00}^{1866,6} x \left( R_a \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 + M_a \right)$$

$$A_2 \ell = \int_{3000,00}^{1866,6} \left( R_a \cdot x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_a x \right)$$

$$-70857237403,9 \ell = -185544592120338,00$$

$$= 2618,5694 \text{ mm}$$

$$\ell_3 = \ell - L_1$$

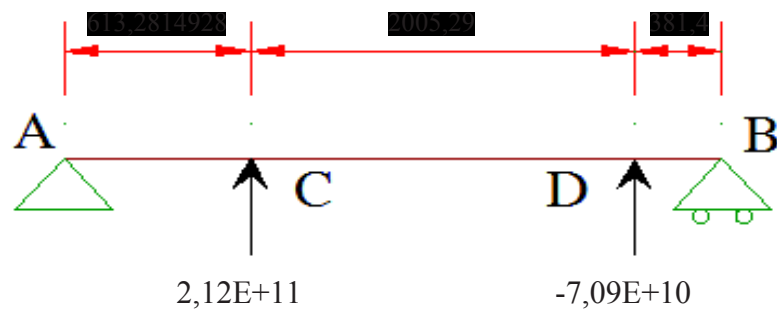
$$= 2618,569 - 1866,555$$

$$= 752,014 \text{ mm}$$

$$\ell_4 = L_2 - \ell_3$$

$$= 1133,445 - 752,014$$

$$= 381,431 \text{ mm}$$



Gambar 4.56 Pembebanan akibat momen

Mencari reaksi :

$$\sum M_b = 0$$

$$0 = R_a \times 3000,0 + A_1 \times 2386,7 + A_2 \times 381,4$$

$$0 = R_a \times 3000,0 + 2,12E+11 \times 2386,7 +$$

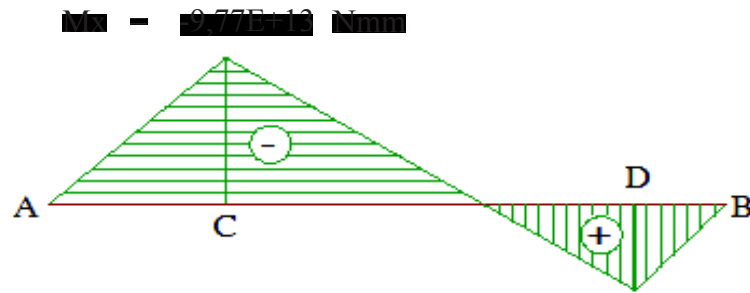
$$\begin{aligned}
 & -7,09\text{E}+10 \times 381,4 \\
 0 &= 3000 \text{ Ra} + 478077102090000 \\
 \text{Ra} &= -159359034030,00 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum \text{Ma} &= 0 \\
 0 &= \text{Rb} \times 3000,0 - \text{A2} \times 2618,6 - \text{A1} \times 613,3 \\
 0 &= \text{Rb} \times 3000,0 - 7,09\text{E}+10 \times 2618,6 - \\
 & \quad 2,12\text{E}+11 \times 613,3 \\
 0 &= 3000 \text{ Rb} + -55755062910000 \\
 \text{Rb} &= 18585020970,00 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung momen maksimal :

$$\begin{aligned}
 \text{M}_a &= 0 \text{ Nmm} \\
 \text{M}_c &= \text{Ra} \times 613,28 \\
 &= -159359034030,0 \times 613,28 \\
 &= -97731946283122,10 \text{ Nmm} \\
 \text{M}_d &= \text{Ra} \times 2618,6 + \text{A1} \times 2005,3 \\
 &= -1,59\text{E}+11 \times 2618,6 + 2,12\text{E}+11 \times 2005,3 \\
 &= 7088896096718,31 \text{ Nmm} \\
 \text{M}_b &= \text{Ra} \times 3000,0 + \text{A1} \times 2386,7 + \text{A2} \times 381,4306 \\
 &= -1,59\text{E}+11 \times 3000,0 + 2,12\text{E}+11 \times 2386,7 + \\
 & \quad -7,09\text{E}+10 \times 381,43 \\
 &= 0 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Bidang momen digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.57 Bidang Momen Kondisi Baru

$$\begin{aligned}
 E_k &= \left\{ E_s \times \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) + E_c \left( \frac{A_c}{A_s + A_c} \right) \right\} / 2 \\
 &= \left\{ 23500 \times \left( \frac{3266,00}{3266 + 120000} \right) + 200000 \times \left( \frac{120000,00}{3266 + 120000} \right) \right\} / 2 \\
 &= 97661,77 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, lendutan dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Delta_i &= \frac{M_x}{E \quad I} \\
 &= \frac{97731946283122,10}{97661,77 \times 393761489,4} \\
 &= 2,5414334 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka :

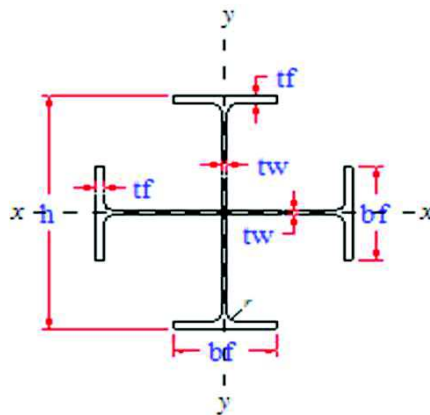
$$\Delta = 11,111 \text{ mm} > \Delta_i = 2,5414 \text{ mm}$$

#### 4.4 Perencanaan Kolom dengan tinggi 5,00 m



Gambar 4.58 Letak kolom yang ditinjau

Terdapat pada lantai base dengan label



Digunakan profil baja KC untuk kolom 588 x 300 x 12 x 20

Dari tabel baja diperoleh :

|       |                          |       |                            |       |                            |
|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|
| $h$   | : 588,0 mm               | $r$   | : 28,0 mm                  | $I_y$ | : 132585,0 cm <sup>4</sup> |
| $b_f$ | : 300,0 mm               | $H_1$ | : 48,0 mm                  | $r_x$ | : 18,16 cm                 |
| $t_w$ | : 12,0 mm                | $H_2$ | : 492,0 mm                 | $r_y$ | : 18,16 cm                 |
| $t_f$ | : 20,0 mm                | $w$   | : 385,00 Kg/m              | $S_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup>   |
| $A_g$ | : 385,0 cm <sup>2</sup>  | $I_x$ | : 127020,0 cm <sup>4</sup> | $S_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup>   |
| $Z_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup> | $f_u$ | : 470 MPa                  | $E_s$ | : 200000 MPa               |
| $Z_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup> | $f_y$ | : 240 MPa                  | $h_e$ | : 492,0 mm                 |

Kriteria untuk kolom komposit (ps 12.2.1, Pustaka ) :

1. Tegangan leleh baja profil dan tulangan baja yang digunakan tidak boleh melebihi 380 Mpa

$$f_{y\text{profil}} (f_y) = 240 < 380 \text{ Mpa}$$

$$f_{y\text{tulangan}} (f_{yr}) = 240 < 380 \text{ Mpa untuk mutu baja tulangan U24}$$

2. Mutu beton yang digunakan tidak lebih dari pada 55 Mpa dan tidak kurang dari 21 Mpa untuk beton normal

$$21 \text{ Mpa} < f_c = 30 \text{ Mpa} < 55 \text{ Mpa}$$

3. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang Komposit Total

$$A_s > (4\% \cdot A_{\text{komposit}})$$

$$A_s = 2 \times 192,5$$

$$= 385,000 \text{ cm}^2 > 4\% (80 \times 80) = 256,000 \text{ cm}^2$$

4. Tebal bersih selimut beto = 40 mm

Digunakan tulangan longitudinal rencana 4 D 16

Digunakan tulangan transversal rencana D 8 - 200

Spasi antar tulangan longitudinal

$$= 800 - \left[ 2 \times 40 \right] + \left[ 2 \times 8 \right] + \left[ 2 \times \frac{1}{2} \times 16 \right]$$

$$= 752 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Slongitudinal}} = \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ = \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right]$$



$$\begin{aligned}
&= 201,143 \text{ mm}^2 > 0,18 \times 752 = 135,360 \text{ mm}^2 \\
A_{\text{Stransversal}} &= \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\
&= \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 8^2 \right] \\
&= 50,286 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\text{Jarak sengkang} = 200 \text{ mm} < \frac{2}{3} \cdot 800 = 533,333 \text{ mm}$$

Kontrol lebar bersih :

$$2 \times 40 + 2 \times 8 + 2 \times 16 + 588 = 716 \text{ mm} < 800$$

- Modifikasi tegangan leleh untuk komposit

$$\begin{aligned}
\text{Luas tulangan } (A_r) &= 4 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\
&= 4 \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right] \\
&= 803,840 \text{ mm}^2 = 8,038 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas tulangan } (A_s) &= 2 \times A_s \\
&= 2 \times 192,5 \\
&= 385,000 \text{ cm}^2 = 38500,000 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas beton } (A_c) &= A_{\text{komposit}} - A_r - A_s \\
&= \left[ 800 \times 800 \right] - 803,840 - 38500,000 \\
&= 600696,160 \text{ mm}^2 = 6006,962 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton koefisien yang disyaratkan adalah Sebagai Berikut (Ps 12.2.2, pustaka 7) :

$$c_1 = 0,7 \qquad c_2 = 0,6 \qquad c_3 = 0,2$$

Maka :

$$\begin{aligned}
f_{my} &= f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left( \frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \left( \frac{A_c}{A_s} \right) \\
&= 2400 + 0,7 \cdot 2400 \left[ \frac{8,04}{385} \right] + 0,6 \cdot 300 \left[ \frac{6006,962}{385} \right]
\end{aligned}$$

$$= 5243,526234 \text{ kgm/cm}^2 = 524,35262 \text{ Mpa}$$

- Modifikasi modulus elastisitas untuk kolom komposit :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} = 257429,602 \text{ kgm/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} E_k &= \left\{ E_s \times \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) + E_c \left( \frac{A_c}{A_s + A_c} \right) / 2 \right\} \\ &= \left\{ 23500 \times \left( \frac{385,00}{385 + 6400} \right) + 200000 \times \left( \frac{6400,00}{385 + 6400} \right) / 2 \right\} \\ &= 94992,45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

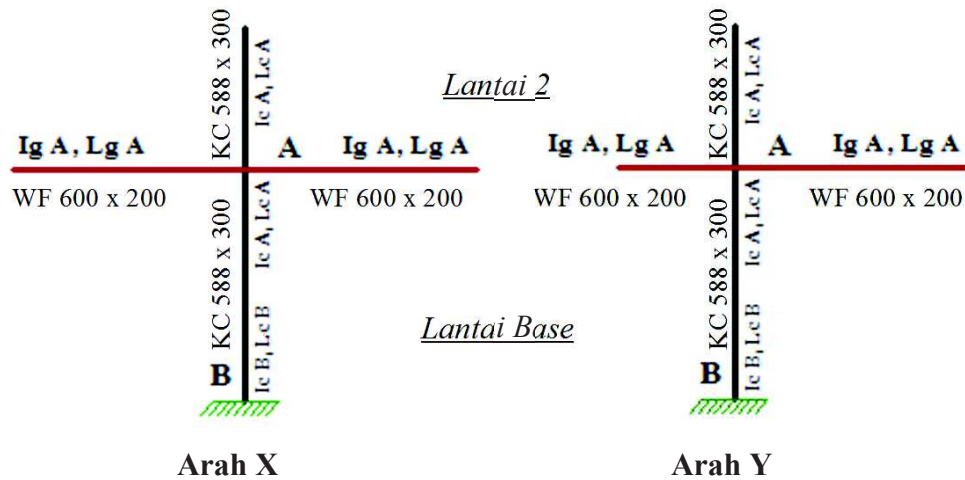
$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,0 \cdot 10^5}{25742,960} = 7,76911$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ Beton} &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 80 \times 80^3 \\ &= 3413333,333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y \text{ Beton} &= \frac{1}{12} \times b^3 \times h = \frac{1}{12} \times 80^3 \times 80 \\ &= 3413333,333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ profil King Cross} &= I_y \text{ profil King Cross} = i_x + i_y \\ &= 127020 + 132585 \\ &= 259605 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ total} = I_y \text{ total} &= \frac{I_{\text{beton}}}{n} - I \text{ profil} \\ &= \frac{3413333,333}{7,769114291} - 259605 = 179741,5208 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 4.59 Letak kolom dan balok yang ditinjau

#### 4.4.1 Kontrol Terhadap Tekan

Pengecekan kelangsingan untuk elemen yang menahan tekan aksial (menurut SNI 1729:2015 tabel B4 . 1a), yakni :

- Sayap (*flange*)

$$\frac{bf}{2 \quad tf} = \frac{300}{2 \quad \times \quad 20} = 7,5$$

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 16,1658$$

Karena,  $bf / 2tf < 0.56 \sqrt{ ( E/fy ) }$  maka, elemen : non langsing

- Badan (*Web*)

$$\frac{he}{tw} = \frac{588 - 2 ( \quad 20 \quad + \quad 28 \quad + \quad 12 \quad )}{12} = 39,00$$

$$1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 43,0126$$

Karena,  $he / tw < 1.49 \sqrt{ ( E/fy ) }$  maka, elemen : non langsing

Menentukan panjang efektif kolom (KL) sebagai berikut :

- 1) Nilai K (faktor panjang efektif) kolom arah  $x$

Kolom dianggap merupakan rangka bergoyang karena terjadi

*displacement* akibat beban gempa.

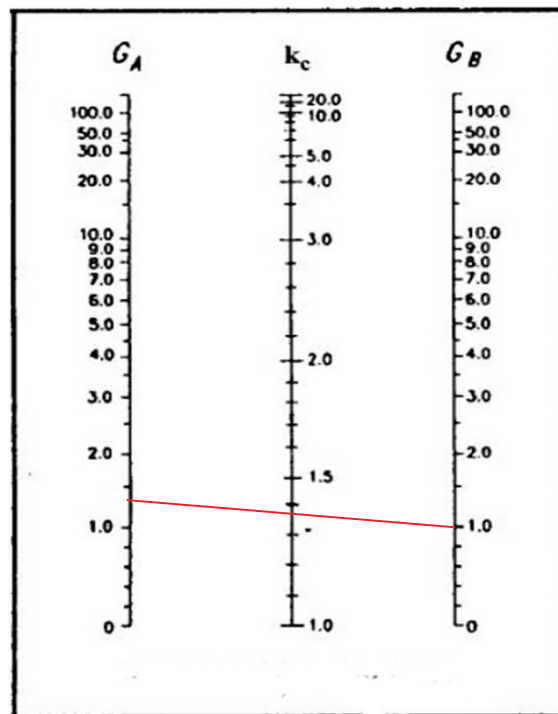
$$G_A = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1797415208}{5000} + \frac{94992 \times 1797415208}{4000} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650359}{6000} + \frac{96578,58 \times 1672650359}{6000} \right)}$$

$$= 1,43$$

$G_B$  = Untuk kolom yang terhubung kaku pada pondasi (tumpuan jepit), nilai  $G$  diambil sebesar : 1,0

Kemudian nilai  $K$  diperoleh dengan menggunakan *Alignment Chart* untuk struktur bergoyang sebagai berikut :



Gambar 4.60 Alignment Chart untuk menghitung  $K$  arah x

Sumber : SNI 1729 : 2002

Dari grafik tersebut, nilai  $K$  diperoleh sebesar 1,36

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal E2 Rasio kelangsingan efektif

disyaratkan sebagai berikut :

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1,36 \times 5000}{181,6} = 37,445 < 200$$

2) Nilai K (faktor panjang efektif) kolom arah y

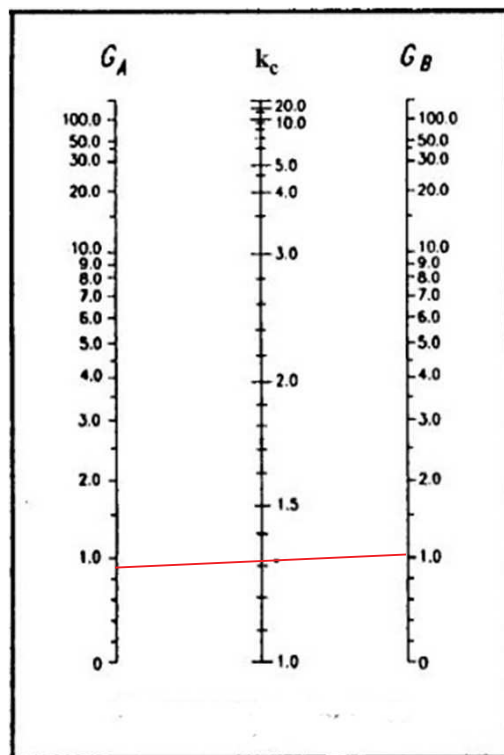
$$G_A = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1270200000}{5000} + \frac{94992 \times 1270200000}{4000} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5000} + \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5000} \right)}$$

$$= 0,840287$$

$G_B =$  Untuk kolom yang terhubung kaku pada pondasi (tumpuan jepit), nilai G diambil sebesar : 1,0

Kemudian nilai K diperoleh dengan menggunakan *Alignment Chart* untuk struktur bergoyang sebagai berikut :



Gambar 4.61 Alignment Chart untuk menghitung K arah x

Sumber : SNI 1729 : 2002

Dari grafik tersebut, nilai K diperoleh sebesar 1,30

Rasio kelangsingan efektif sebagai berikut :

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{1,30 \times 5000}{181,6} = 35,793 < 200$$

Rasio kelangsingan efektif  $x = 37,445 > y = 35,793$

maka arah  $x$  menentukan tekuk, sehingga dalam perhitungan selanjutnya ditinjau pada arah  $x$

Perhitungan tegangan kritis tekuk dan lentur menurut SNI 1729 : 2015

pasal E7 untuk komponen dengan elemen langsing :

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q f_y}}$$

Dimana :

$Q$  = Faktor reduksi neto, untuk komponen dgn elemen langsing  
sebesar : 1,0

Dengan demikian,

$$\frac{KL}{r} = 37,444934$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{Q f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{1 \times 240}} = 135,97$$

Karena,  $KL / r < 4,71 \sqrt{(E / Q f_y)}$  Maka  $F_{cr}$  dirumuskan :

$$F_{cr} = Q \left[ 0,658 \left( \frac{Q f_y}{F_e} \right) \right] f_y$$

Dimana :

$F_e$  = tegangan tekuk kritis elastis (Mpa). Untuk tekuk kritis lentur,

$F_e$  dihitung dengan menggunakan persamaan E3-4 SNI 1729 :

2015 sebagai berikut :

$$= \frac{\pi^2 E}{(KL / r_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000}{37,44^2} = 52661,9 \text{ MPa}$$

Maka, tegangan kritis dihitung sebagai berikut :

$$F_{cr} = 1 \times \left( 0,658 - \frac{1 \times 240}{52661,9} \right) \times 240$$

$$= 239,54264 \text{ Mpa}$$

Sedangkan untuk tegangan kritis tekuk dan puntir dihitung dengan nilai  $F_e$  ditentukan menurut persamaan E4-4 SNI 1729 : 2015, sebagai berikut :

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + \frac{GJ}{I_x + I_y} \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

dimana :

$G$  = Modulus elastisitas geser baja (menurut SNI 1729 : 2015 hal xviii) sebesar : 77200 MPa

$J$  = Konstanta torsi

$$= \frac{1}{3} \times h_e \times t_w^3 \times 2 + \left( \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 \right)$$

$$= \frac{1}{3} \times 492 \times 12^3 \times 2 + \left( \frac{1}{3} \times 300 \times 20^3 \right)$$

$$= 1883392 \text{ mm}^4$$

$C_w$  = Konstanta pilin

$$= \frac{1}{4} h_e^2 I_y$$

$$= \frac{1}{4} \times 492,0^2 \times 1325850000$$

$$= 80235138600000,00 \text{ mm}^6$$

Karena, kolom bertumpuan jepit-jepit dapat dianggap  $K_z L = KL$

Maka nilai  $F_e$  adalah :

$$F_e = \left( \frac{3,14^2 \times 200000 \times 8,02E+13}{6800^2} + \left[ 77200 \times 1883392 \right] \right) \times \frac{1}{1270200000 + 1325850000}$$

$$= 1374,03044$$

Dengan memperoleh nilai  $F_e$ , tegangan kritis dihitung sebagai berikut :

$$F_{cr} = 1 \times \left( 0,658 - \frac{1 \times 240}{1374,0} \right) \times 240$$

$$= 223,08019 \text{ Mpa}$$

Menghitung kuat tekan nominal.

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal E7, kuat tekan nominal ( $P_n$ ) harus dihitung dari nilai terendah berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur dan tekuk torsi. Karena  $F_{cr} \text{ tekuk lentur} > F_{cr} \text{ tekuk puntir}$ , maka tekuk yang terjadi adalah puntir

$$P_n = F_{cr} \times A_{\text{komposit}}$$

$$= 223,08 \times 74509$$

$$= 16621420 \text{ N}$$

Syarat :

$$\phi_c P_n \geq P_u$$

$$0,85 \times 16621419,56 \geq 5985295,79 \text{ Nmm}$$

$$14128206,63 \text{ Nmm} \geq 5985295,79 \text{ Nmm}$$

#### 4.4.2 Kontrol Lentur Penampang

Pengecekan kelangsingan untuk elemen yang menahan momen lentur (menurut SNI 1729:2015 tabel B4 . 1b), yakni :

- Sayap (*flange*) - Kompak

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 t_f} = \frac{300}{2 \times 20} = 7,5$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,9697$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf}$  sayap profil kompak



- Badan (*Web*) - Kompak

$$\lambda_w = \frac{he}{tw} = \frac{588 - 2(20 + 28)}{12} = 41$$

$$\lambda_{pw} = 3,67 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,67 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 105,94$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw}$  badan profil kompak

Maka penampang didesain dengan keadaan momen plastis

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = f_y \times Z_x \\ &= 290 \times 4320400,0 \\ &= 1252916000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi_c M_n \geq M_u$$

$$\begin{aligned} 0,85 \times 1252916000,0 &\geq 947510779 \text{ Nmm} \\ 1064978600 \text{ Nmm} &\geq 947510779 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

#### 4.4.3 Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur

Interaksi gaya aksial dan momen lentur menurut SNI 1729 : 2015 pasal

H1-1, dihitung sebagai berikut :

$$P_u = 5985295,8$$

$$P_n = 16621420$$

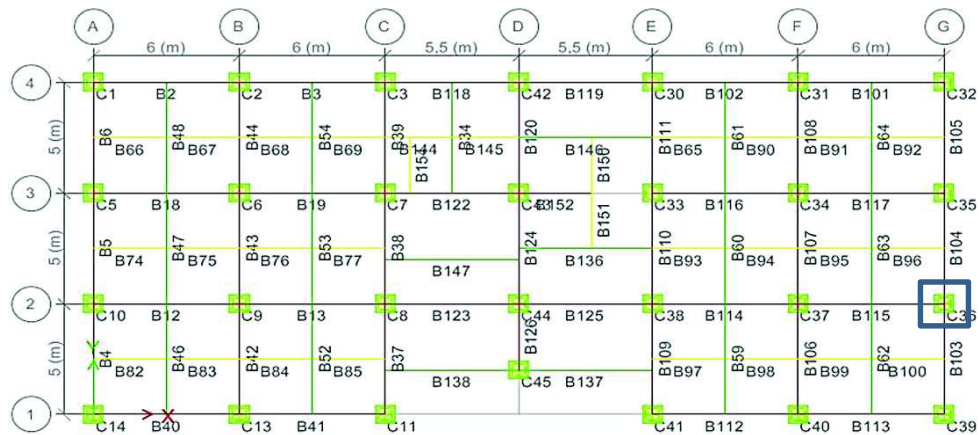
$$\text{Jika, } \frac{P_u}{P_n} = \frac{5985295,8}{16621420} = 0,3601 > 0,2, \text{ maka :}$$

$$\frac{P_u}{P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux} + M_{ux}}{M_{nx} + M_{nx}} \right) \leq 1,0$$

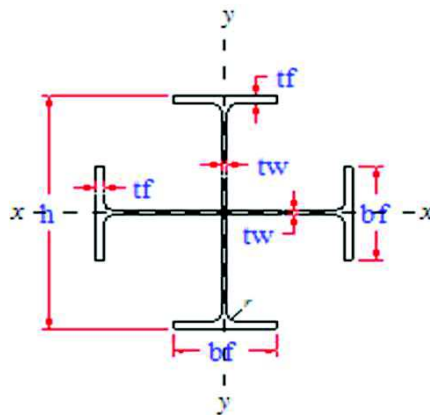
$$0,36 + \frac{8}{9} \left( \frac{141670620,6}{1252916000} + 0 \right) \leq 1,0$$

$$0,4606044 < 1,0$$

#### 4.5 Perencanaan Kolom dengan tinggi 4,00 m



Terdapat pada lantai 8 dengan label



Digunakan profil baja KC untuk kolom 588 x 300 x 12 x 20

Dari tabel baja diperoleh :

|       |                          |       |                            |       |                            |
|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|
| $h$   | : 588,0 mm               | $r$   | : 28,0 mm                  | $I_y$ | : 132585,0 cm <sup>4</sup> |
| $b_f$ | : 300,0 mm               | $H_1$ | : 48,0 mm                  | $r_x$ | : 18,16 cm                 |
| $t_w$ | : 12,0 mm                | $H_2$ | : 492,0 mm                 | $r_y$ | : 18,16 cm                 |
| $t_f$ | : 20,0 mm                | $w$   | : 385,00 Kg/m              | $S_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup>   |
| $A_g$ | : 385,0 cm <sup>2</sup>  | $I_x$ | : 127020,0 cm <sup>4</sup> | $S_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup>   |
| $Z_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup> | $f_u$ | : 470 MPa                  | $E_s$ | : 200000 MPa               |
| $Z_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup> | $f_y$ | : 240 MPa                  | $h_e$ | : 492,0 mm                 |

Kriteria untuk kolom komposit (ps 12.2.1, Pustaka ) :

1. Tegangan leleh baja profil dan tulangan baja yang digunakan tidak boleh melebihi 380 Mpa

$$f_{y\text{profil}} (f_y) = 240 < 380 \text{ Mpa}$$

$$f_{y\text{tulangan}} (f_{yr}) = 240 < 380 \text{ Mpa untuk mutu baja tulangan U24}$$

2. Mutu beton yang digunakan tidak lebih dari pada 55 Mpa dan tidak kurang dari 21 Mpa untuk beton normal

$$21 \text{ Mpa} < f_c = 30 \text{ Mpa} < 55 \text{ Mpa}$$

3. Luas penampang profil baja minimal sebesar 4% dari luas penampang Komposit Total

$$A_s > (4\% \cdot A_{\text{komposit}})$$

$$A_s = 2 \times 192,5$$

$$= 385,000 \text{ cm}^2 > 4\% (80 \times 80) = 256,000 \text{ cm}^2$$

4. Tebal bersih selimut beto = 40 mm

Digunakan tulangan longitudinal rencana 4 D 16

Digunakan tulangan transversal rencana D 8 - 200

Spasi antar tulangan longitudinal

$$= 800 - \left[ 2 \times 40 \right] + \left[ 2 \times 8 \right] + \left[ 2 \times \frac{1}{2} \times 16 \right]$$

$$= 752 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Slongitudinal}} = \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\ = \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right]$$

$$\begin{aligned}
&= 201,143 \text{ mm}^2 > 0,18 \times 752 = 135,360 \text{ mm}^2 \\
A_{\text{Stransversal}} &= \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\
&= \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 8^2 \right] \\
&= 50,286 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\text{Jarak sengkang} = 200 \text{ mm} < \frac{2}{3} \cdot 800 = 533,333 \text{ mm}$$

Kontrol lebar bersih :

$$2 \times 40 + 2 \times 8 + 2 \times 16 + 588 = 716 \text{ mm} < 800$$

- Modifikasi tegangan leleh untuk komposit

$$\begin{aligned}
\text{Luas tulangan } (A_r) &= 4 \left( \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right) \\
&= 4 \left[ \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{7} \cdot 16^2 \right] \\
&= 803,840 \text{ mm}^2 = 8,038 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas tulangan } (A_s) &= 2 \times A_s \\
&= 2 \times 192,5 \\
&= 385,000 \text{ cm}^2 = 38500,000 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas beton } (A_c) &= A_{\text{komposit}} - A_r - A_s \\
&= \left[ 800 \times 800 \right] - 803,840 - 38500,000 \\
&= 600696,160 \text{ mm}^2 = 6006,962 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Untuk profil baja yang diberi selubung beton koefisien yang disyaratkan adalah Sebagai Berikut (Ps 12.2.2, pustaka 7) :

$$c_1 = 0,7 \quad c_2 = 0,6 \quad c_3 = 0,2$$

Maka :

$$\begin{aligned}
f_{my} &= f_y + c_1 \cdot f_{yr} \cdot \left( \frac{A_r}{A_s} \right) + c_2 \cdot f'_c \left( \frac{A_c}{A_s} \right) \\
&= 2400 + 0,7 \cdot 2400 \left[ \frac{8,04}{385} \right] + 0,6 \cdot 300 \left[ \frac{6006,962}{385} \right]
\end{aligned}$$

$$= 5243,526234 \text{ kgm/cm}^2 = 524,35262 \text{ Mpa}$$

- Modifikasi modulus elastisitas untuk kolom komposit :

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25742,960 \text{ Mpa} = 257429,602 \text{ kgm/cm}^2 \end{aligned}$$

$$E_s = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} E_k &= \left\{ E_s \times \left( \frac{A_s}{A_s + A_c} \right) + E_c \left( \frac{A_c}{A_s + A_c} \right) / 2 \right\} \\ &= \left\{ 23500 \times \left( \frac{385,00}{385 + 6400} \right) + 200000 \times \left( \frac{6400,00}{385 + 6400} \right) / 2 \right\} \\ &= 94992,45 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

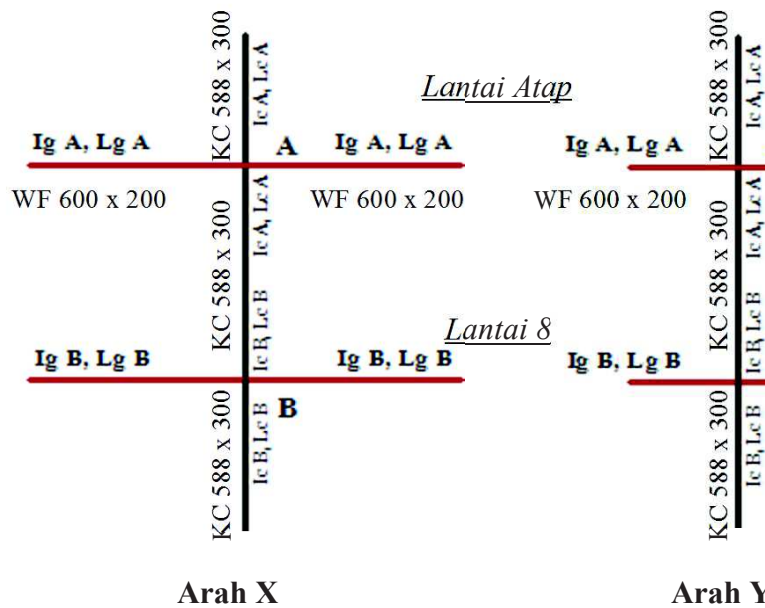
$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{2,0 \cdot 10^5}{25742,960} = 7,76911$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ Beton} &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 = \frac{1}{12} \times 80 \times 80^3 \\ &= 3413333,333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y \text{ Beton} &= \frac{1}{12} \times b^3 \times h = \frac{1}{12} \times 80^3 \times 80 \\ &= 3413333,333 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ profil King Cross} &= I_y \text{ profil King Cros} = i_x + i_y \\ &= 127020 + 132585 \\ &= 259605 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x \text{ total} = I_y \text{ total} &= \frac{I_{\text{beton}}}{n} - I \text{ profil} \\ &= \frac{3413333,333}{7,769114291} - 259605 = 179741,5208 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$



Gambar 4.62 Letak kolom dan balok yang ditinjau

#### 4.5.1 Kontrol Terhadap Tekan

Pengecekan kelangsingan untuk elemen yang menahan tekan aksial (menurut SNI 1729:2015 tabel B4 . 1a), yakni :

- Sayap (*flange*)

$$\frac{bf}{2 \quad tf} = \frac{300}{2 \quad \times \quad 20} = 7,5$$

$$0,56 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 16,1658$$

Karena,  $bf / 2tf < 0.56 \sqrt{ ( E/fy ) }$  maka, elemen : non langsing

- Badan (*Web*)

$$\frac{he}{tw} = \frac{588 - 2 ( \quad 20 \quad + \quad 28 \quad + \quad 12 \quad )}{12} = 39,00$$

$$1,49 \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 43,0126$$

Karena,  $he / tw < 1.49 \sqrt{ ( E/fy ) }$  maka, elemen : non langsing

Menentukan panjang efektif kolom (KL) sebagai berikut :

1) Nilai K (faktor panjang efektif) kolom arah  $x$

Kolom dianggap merupakan rangka bergoyang karena terjadi *displacement* akibat beban gempa.

$$G_A = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1797415208}{4000} + \frac{94992 \times 1797415208}{3500} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5500} + \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5500} \right)}$$

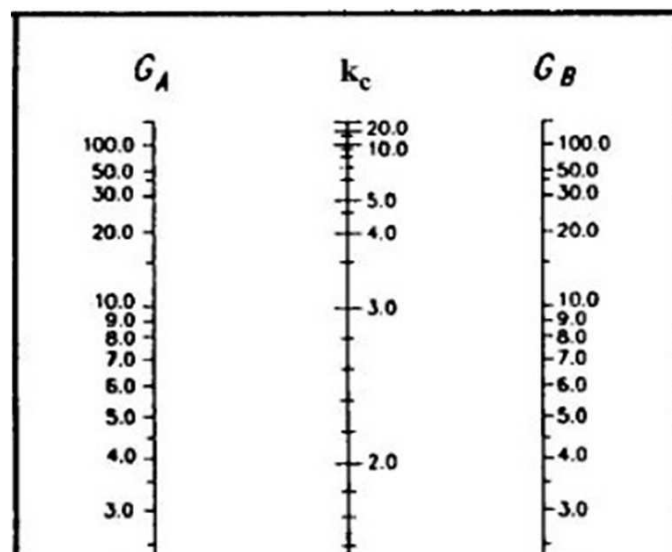
$$= 1,56$$

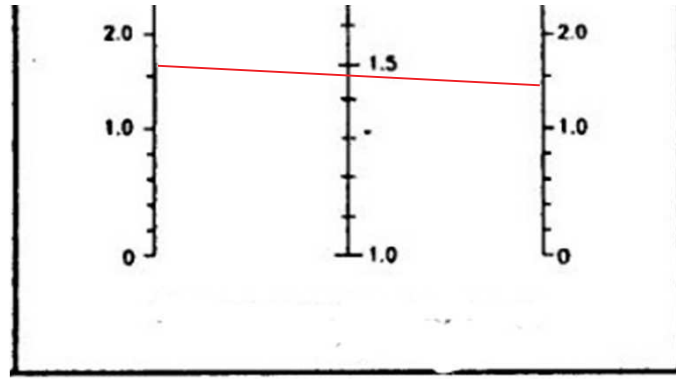
$$G_B = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1797415208}{4000} + \frac{94992 \times 1797415208}{4000} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5500} + \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5500} \right)}$$

$$= 1,45$$

Kemudian nilai K diperoleh dengan menggunakan *Alignment Chart* untuk struktur bergoyang sebagai berikut :





Gambar 4.63 Alignment Chart untuk menghitung K arah x

Sumber : SNI 1729 : 2002

Dari grafik tersebut, nilai K diperoleh sebesar 1,46

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal E2 Rasio kelangsingan efektif disyaratkan sebagai berikut :

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1,46 \times 5000}{181,6} = 40,198 < 200$$

2) Nilai K (faktor panjang efektif) kolom arah y

$$G_A = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1797415208}{4000} + \frac{94992 \times 1797415208}{3500} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5000} \right)}$$

$$= 2,831097$$

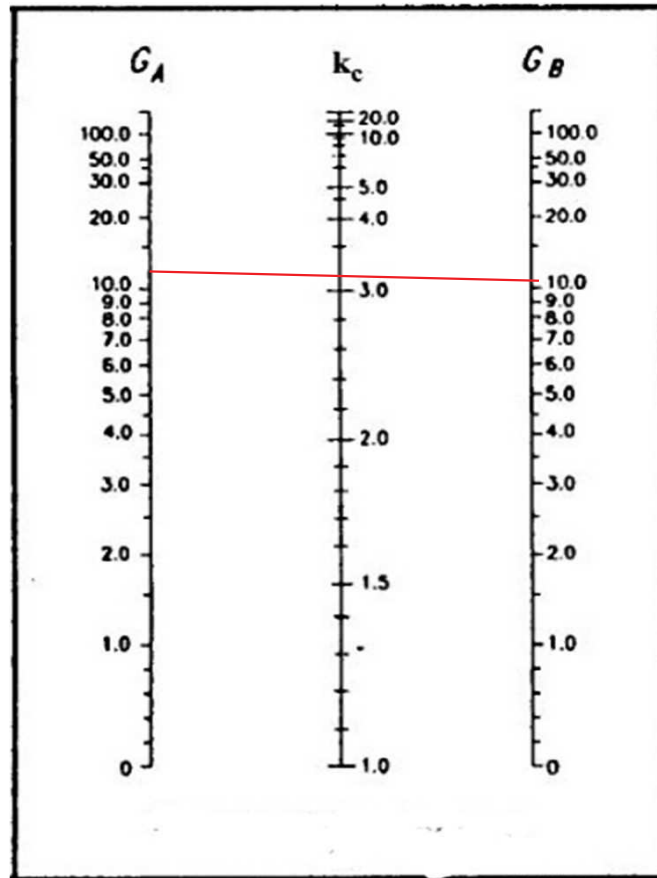
$$G_B = \frac{\sum (E_k I_k / L)_{\text{kolom}}}{\sum (E_k I_k / L)_{\text{balok}}}$$

$$= \frac{\left( \frac{94992 \times 1797415208}{4000} + \frac{94992 \times 1797415208}{4000} \right)}{\left( \frac{96578,58 \times 1672650358,6}{5000} \right)}$$

$$= 2,64$$



Kemudian nilai K diperoleh dengan menggunakan *Alignment Chart* untuk struktur bergoyang sebagai berikut :



Gambar 4.64 Alignment Chart untuk menghitung K arah x

Sumber : SNI 1729 : 2002

Dari grafik tersebut, nilai K diperoleh sebesar 3,10

Rasio kelangsingan efektif sebagai berikut :

$$\frac{KL}{r_y} = \frac{3,10 \times 5000}{181,6} = 85,352 < 200$$

Rasio kelangsingan efektif  $x = 40,198 < y = 85,352$

maka arah  $y$  menentukan tekuk, sehingga dalam perhitungan selanjutnya ditinjau pada arah  $y$

Perhitungan tegangan kritis tekuk dan lentur menurut SNI 1729 : 2015 pasal E7 untuk komponen dengan elemen langsing :

$$\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{Q f_y}}$$

Dimana :

Q = Faktor reduksi neto, untuk komponen dgn elemen langsing  
sebesar : 1,0

Dengan demikian,

$$\frac{KL}{r} = 85,352423$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{Q f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{1 \times 240}} = 135,97$$

Karena,  $KL / r < 4,71 \sqrt{(E / Q f_y)}$  Maka  $F_{cr}$  dirumuskan :

$$F_{cr} = Q \left( 0,658 \sqrt{\frac{Q f_y}{F_e}} \right) f_y$$

Dimana :

$F_e$  = tegangan tekuk kritis elastis (Mpa). Untuk tekuk kritis lentur,  
 $F_e$  dihitung dengan menggunakan persamaan E3-4 SNI 1729 :  
2015 sebagai berikut :

$$= \frac{\pi^2 E}{(KL / r_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000}{85,35^2} = 23103,3 \text{ MPa}$$

Maka, tegangan kritis dihitung sebagai berikut :

$$F_{cr} = 1 \times \left( 0,658 \sqrt{\frac{1 \times 240}{23103,3}} \right) \times 240$$

$$= 238,95875 \text{ Mpa}$$

Sedangkan untuk tegangan kritis tekuk dan puntir dihitung dgn nilai  $F_e$   
ditentukan menurut persamaan E4-4 SNI 1729 : 2015, sebagai berikut :

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

dimana :

$G$  = Modulus elastisitas geser baja (menurut SNI 1729 : 2015 hal xviii) sebesar : 77200 MPa

$$\begin{aligned} J &= \text{Konstanta torsi} \\ &= \frac{1}{3} \times h_e \times t_w^3 \times 2 + 2 \left( \frac{1}{3} \times b_f \times t_f^3 \right) \\ &= \frac{1}{3} \times 492 \times 12^3 \times 2 + 2 \left( \frac{1}{3} \times 300 \times 20^3 \right) \\ &= 1883392 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_w &= \text{Konstanta pilin} \\ &= \frac{1}{4} h_e^2 I_y \\ &= \frac{1}{4} \times 492,0^2 \times 1325850000 \\ &= 80235138600000,00 \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

Karena, kolom bertumpuan jepit-jepit dapat dianggap  $K_z L = KL$

Maka nilai  $F_e$  adalah :

$$\begin{aligned} F_e &= \left[ \frac{3,14^2 \times 200000 \times 8,02E+13}{5840^2} + \left( 77200 \times 1883392 \right) \right] \\ &\quad \times \frac{1}{1270200000 + 1325850000} \\ &= 1842,968663 \end{aligned}$$

Dengan memperoleh nilai  $F_e$ , tegangan kritis dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 1 \times \left( 0,658 + \frac{1 \times 240}{1843,0} \right) \times 240 \\ &= 227,26877 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menghitung kuat tekan nominal.

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal E7, kuat tekan nominal ( $P_n$ ) harus dihitung dari nilai terendah berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur dan tekuk torsi. Karena  $F_{cr} \text{ tekuk lentur} > F_{cr} \text{ tekuk puntir}$ , maka tekuk yang terjadi adalah puntir

$$\begin{aligned}
 P_n &= F_{cr} \times A_g \\
 &= 227,27 \times 38500 \\
 &= 8749847,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \phi_c P_n &\geq P_u \\
 0,85 \times 8749847,76 &\geq 5143296,85 \text{ Nmm} \\
 7437370,597 \text{ Nmm} &\geq 5143296,85 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

#### 4.5.2 Kontrol Lentur Penampang

Pengecekan kelangsingan untuk elemen yang menahan momen lentur (menurut SNI 1729:2015 tabel B4 . 1b), yakni :

- Sayap (*flange*) - Kompak

$$\begin{aligned}
 \lambda_f &= \frac{bf}{2 \quad tf} = \frac{300}{2 \times 20} = 7,5 \\
 \lambda_{pf} &= 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,9697
 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda_f < \lambda_{pf}$  sayap profil kompak

- Badan (*Web*) - Kompak

$$\begin{aligned}
 \lambda_w &= \frac{he}{tw} = \frac{588 - 2 ( 20 + 28 )}{12} = 41 \\
 \lambda_{pw} &= 3,67 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,67 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 105,94
 \end{aligned}$$

Karena  $\lambda_w < \lambda_{pw}$  badan profil kompak

Maka penampang didesain dengan keadaan momen plastis

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = f_y \times Z_x \\
 &= 240 \times 4320400,0 \\
 &= 1036896000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\phi_c \quad M_n \quad \geq \quad M_u$$

$$0,85 \times 1036896000,0 \quad \geq \quad 836405723 \quad \text{Nmm}$$

$$881361600 \quad \text{Nmm} \quad \geq \quad 836405723 \quad \text{Nmm}$$

#### 4.5.3 Interaksi Gaya Aksial dan Momen Lentur

Interaksi gaya aksial dan momen lentur menurut SNI 1729 : 2015 pasal

H1-1, dihitung sebagai berikut :

$$P_u = 5143296,9$$

$$P_n = 8749847,8$$

$$\text{Jika, } \frac{P_u}{P_n} = \frac{5143296,9}{8749847,8} = 0,5878 > 0,2, \text{ maka :}$$

$$\frac{P_u}{P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux} + M_{ux}}{M_{nx} + M_{nx}} \right) \leq 1,0$$

$$0,588 + \frac{8}{9} \left( \frac{141670620,6}{1036896000} + 0 \right) \leq 1,0$$

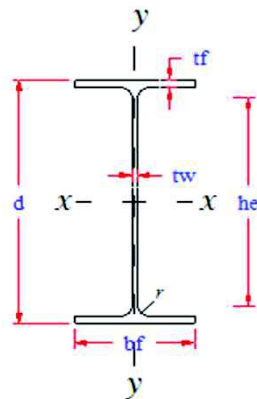
$$0,7092641 < 1,0$$

## BAB V

### PERENCANAAN SAMBUNGAN Dan *BASE PLATE*

#### 5.1 Sambungan Balok Induk - Kolom

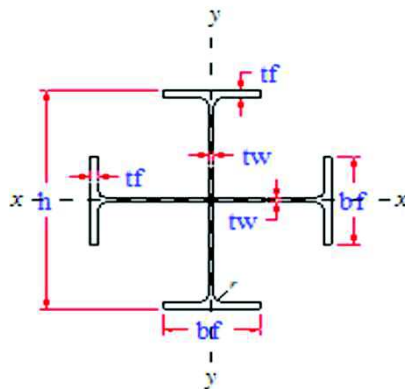
Digunakan profil WF balok induk 600 x 200 x 8 x 13



Dari tabel baja diperoleh :

|                |             |                |                           |                |                          |
|----------------|-------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| d              | : 600,0 mm  | r              | : 16,0 mm                 | $I_y$          | : 1740,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 200,0 mm  | H <sub>1</sub> | : 29,0 mm                 | r <sub>x</sub> | : 29,00 cm               |
| t <sub>w</sub> | : 8,0 mm    | H <sub>2</sub> | : 542,0 mm                | r <sub>y</sub> | : 5,10 cm                |
| tf             | : 13,0 mm   | w              | : 75,96 Kg/m              | S <sub>x</sub> | : 1856,1 cm <sup>3</sup> |
| A <sub>g</sub> | : 66,0 Kg/m | I <sub>x</sub> | : 55683,6 cm <sup>4</sup> | S <sub>y</sub> | : 174,0 cm <sup>3</sup>  |
| f <sub>u</sub> | : 370 Mpa   | E <sub>s</sub> | : 200000 MPa              |                |                          |

Digunakan profil kolom :



Digunakan profil baja KC untuk kolom 588 x 300 x 12 x 20

Dari tabel baja diperoleh :

|                |                          |                |                            |                |                            |
|----------------|--------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| h              | : 588,0 mm               | r              | : 28,0 mm                  | I <sub>y</sub> | : 132585,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 300,0 mm               | H <sub>1</sub> | : 48,0 mm                  | r <sub>x</sub> | : 18,16 cm                 |
| t <sub>w</sub> | : 12,0 mm                | H <sub>2</sub> | : 492,0 mm                 | r <sub>y</sub> | : 18,16 cm                 |
| t <sub>f</sub> | : 20,0 mm                | w              | : 385,00 Kg/m              | S <sub>x</sub> | : 4320,4 cm <sup>3</sup>   |
| A <sub>g</sub> | : 385,0 cm <sup>2</sup>  | I <sub>x</sub> | : 127020,0 cm <sup>4</sup> | S <sub>y</sub> | : 4419,5 cm <sup>3</sup>   |
| Z <sub>x</sub> | : 4320,4 cm <sup>3</sup> | f <sub>u</sub> | : 500 Mpa                  | E <sub>s</sub> | : 200000 MPa               |
| Z <sub>y</sub> | : 4419,5 cm <sup>3</sup> | f <sub>y</sub> | : 290 MPa                  | h <sub>e</sub> | : 492,0 mm                 |
| E <sub>c</sub> | : 23500 Mpa              |                |                            | f <sub>c</sub> | : 30 Mpa                   |

Baut yang digunakan (A325) :

$$\text{Kuat tarik minimum (f}_{ub}\text{)} = 620 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan geser baut (f}_{nv}\text{)} = 372 \text{ Mpa (ulir drat, 1 bisang geser)}$$

$$\text{Diameter baut} = 7/8 \text{ in} = 22,225 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Baut} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2 \\ &= 387,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Plat yang digunakan :

$$f_{yp} = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_{up} = 370 \text{ MPa}$$

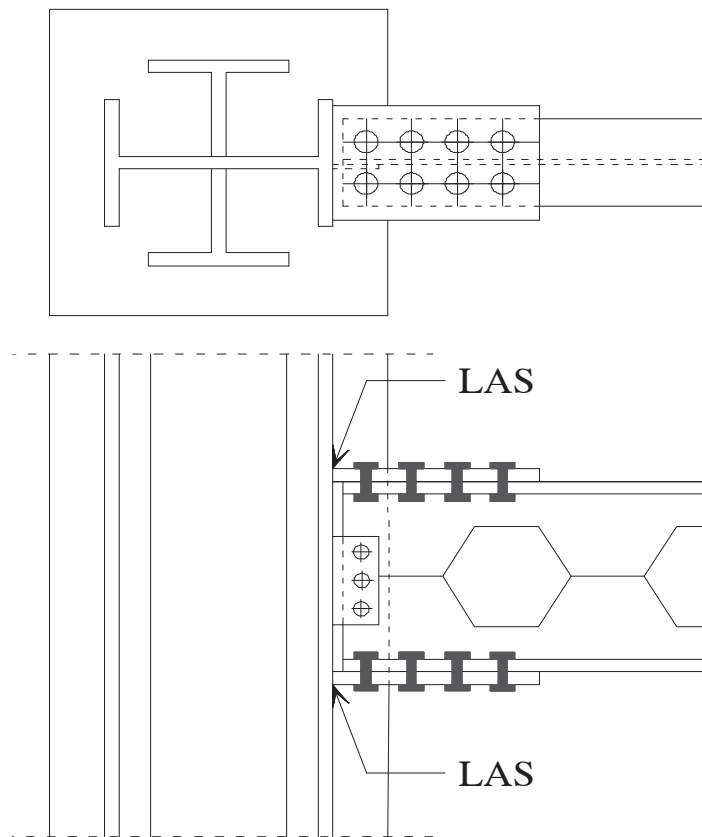
Hasil analisa balok induk yang diperoleh dari program Etabs :

$$M_u = 383949342 \text{ N}$$

$$M_{pr} = M_u \times 125\%$$

$$= 383949342 \times 125\% = 479936677,5 \text{ N}$$

$$V_u = 275755,06 \text{ N}$$



*Gambar 5.1 Perencanaan Sambungan Kolom - Balok Induk*

Pemeriksaan desain kekuatan balok :

$$Z_{req} = \frac{M_{pr}}{0,9 \times f_y} = \frac{479936677,5}{0,9 \times 290} = 1838837,8 \text{ mm}^3$$

Diasumsikan terdapat 2 baris

$$\begin{aligned} A_{fg} &= b_f \times t_f \\ &= 200 \times 20 \\ &= 4000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{fn} &= A_{fg} - 2 (d_b + 2) \times t_f \\ &= 4000 - 2 (1 + 2) \times 13 \end{aligned}$$



$$= 3925,3 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Z_x &= \{(bf - tw) \cdot tf \cdot (d - tf)\} + \left( \frac{tw \cdot d^2}{4} \right) \\ &= \{(200 - 8) \times 13 \times (600 - 13)\} + \left[ \frac{8 \times 600^2}{4} \right] \\ &= 1465152,0 \text{ mm}^3 \\ Z_e &\approx Z_x - 2 \left( 0,206 A_{fg} \frac{d}{2} \right) \\ &\approx 1465152,0 - 2 \left( 0,206 \times 4000 \times \frac{600}{2} \right) \\ &\approx 970752,0 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Apabila :

$$Z_{\text{req}} = 1838837,8 \text{ mm}^3 > Z_e = 970752,0 \text{ mm}^3$$

### 5.1.1 Merencanakan Sambungan badan balok pada flens kolom

*Jumlah baut yang diperlukan untuk menahan geser yakni :*

Untuk baut A325 dengan  $\emptyset = 7/8 \text{ in}$  menurut tabel 8.11 AISC

2010, maka gaya geser yang ditahan oleh satu balok yakni :

$$\emptyset R_n = 21,6 \text{ kips} = 96081,552 \text{ N}$$

$$n = \frac{V_u}{\emptyset R_n} = \frac{275755,06}{96081,552} = 2,87 \approx 4 \text{ buah}$$

Digunakan plat  $5 / 16 \text{ in} \times 9 \text{ in}$

*Jumlah baut yang diperlukan untuk menahan kuat tumpu*

1) Kontrol Nominal tumpu :

- Pada lubang baut bagian plat siku

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 \times l_c \times t_p \times f_{up} < 2,4 \times d \times t_w \times f_u \\ &= 1,2 \times 35 \times 8 \times 370 \\ &= 123348,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n_{\text{siku}}} &= 0,75 \times 123348,75 \\ &= 92511,563 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada lubang baut bagian web dari balok anak

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_f \times f_u \\ &= 2,4 \times 22 \times 20 \times 500 \\ &= 533400 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n_{\text{web}}} &= 0,75 \times 533400 \\ &= 400050 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil kuat nominal tumpu terkecil yakni = 92511,563 N

## 2) Perhitungan Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\phi R_{nv}} = \frac{275755,06}{92511,563} = 2,9808 \approx 4 \text{ baut}$$

## 3) Kontrol kekuatan baut terhadap

$$\begin{aligned} V_{ub} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \\ &= \frac{275755,06}{4} \\ &= 68938,765 \text{ N} < 92511,563 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah baut memenuhi kuat geser perlu

## 4) Menghitung jarak baut

- Jarak Tepi Baut

Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015

untuk baut dengan diameter :  $7/8$  mm, yakni 28,575 mm

Jarak tepi Maksimum ( $S_{\max}$ ) adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 4 t_p + 100 \\ &= 4 \times 7,9375 + 100 \\ &= 131,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S_1 = 35$  mm

$$S_{1 \min} = 29 \text{ mm} \leq S_1 = 35 \text{ mm} < S_{1 \max} = 132 \text{ mm}$$

- Jarak antar baut  $S$

$$2 \frac{2}{3} db < S < 15 t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$2 \frac{2}{3} \times 24 < S < 15 \times 8 \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$32 < 75 < 119,06$$

Digunakan jarak 75 mm

Karena jumlah baut terhadap geser = 4 > jumlah baut yang

dikontrol terhadap tumpu = 4 maka yang digunakan = 4

*Kontrol kekuatan geser blok plat :*

Pada balok anak, sebagai berikut :

$$R_n = 0,60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Dimana :

$U_{bs}$  = Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J4.3, nilai  $U_{bs}$  diambil sebesar

1,0 untuk tegangan tarik merata

$$\begin{aligned} \ell &= S + S + S + S_1 \\ &= 75 + 75 + 75 + 35 \\ &= 260,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

1) Luasan Geser pada Pelat Siku

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned} A_{gv} &= tp \times \ell \\ &= 7,9375 \times 260 \\ &= 2063,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- Lebar lubang ( $\ell_b$ ) :

$$\begin{aligned} \ell_b &= db + 2 \\ &= 29 + 2 \\ &= 31 \text{ mm} \end{aligned}$$

- $\ell_b$  total =  $\ell_b \times$  jumlah baut  
$$\begin{aligned} &= 31 \times 3,5 \\ &= 107,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

- $A_{nv} = tp \times (\ell - \ell_b \text{ total})$   
$$\begin{aligned} &= 8 \times (260 - 107) \\ &= 1214,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} A_{nv} &< 85\% \times A_{gv} \\ 1214 \text{ mm}^2 &< 85\% \times 2063,8 \\ 1214 \text{ mm}^2 &< 1754 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Luasan Tarik pada Pelat penyambung

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned} A_{gt} &= tp \times S_1 \\ &= 8 \times 35 \end{aligned}$$

$$= 277,81 \text{ mm}^2$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- Lebar lubang ( $\ell_b$ ) :

$$\ell_b = db + 2$$

$$= 29 + 2$$

$$= 31 \text{ mm}$$

- $\ell_b \text{ total} = \ell_b \times \text{jumlah baut}$

$$= 31 \times 0,5$$

$$= 15,288 \text{ mm}$$

- $A_{nt} = tp \times (\ell - \ell_b \text{ total})$

$$= 8 \times (35 - 15)$$

$$= 156,47 \text{ mm}^2$$

Syarat :

$$A_{nt} < 85\% \times A_{gt}$$

$$156 \text{ mm}^2 < 85\% \times 277,81$$

$$156 \text{ mm}^2 < 236 \text{ mm}^2$$

3) Kuat nominal berdasarkan keruntuhan dan tegangan putus :

$$R_{nF} = 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$= 0,6 \times 370 \times 1214,3 + 1,0 \times 370 \times 156,47$$

$$= 327476,25 \text{ N}$$

3) Kuat nominal berdasarkan leleh dan tegangan putus :

$$R_{nL} = 0,6 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt}$$

$$= 0,6 \times 240 \times 2063,8 + 1,0 \times 370 \times 156,47$$

$$= 355073,15 \text{ N}$$

Syarat

$$R_{nF} < R_{nL}$$

$$327476 \text{ N} < 355073 \text{ N}$$

*Digunakan sambungan las fillet plat pada flens kolom :*

Sambungan las yang digunakan yakni electrode E7014

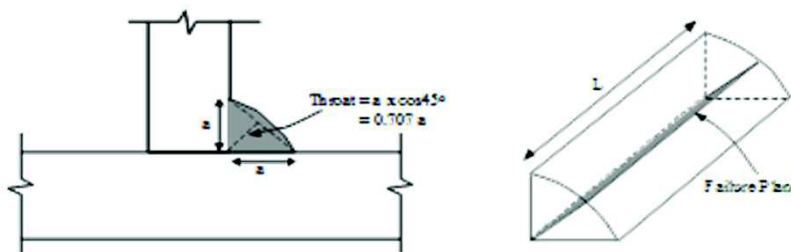
$$f_{uw} = 506 \text{ Mpa}$$

$$\text{tebal las rencana (a)} = 5 \text{ mm}$$

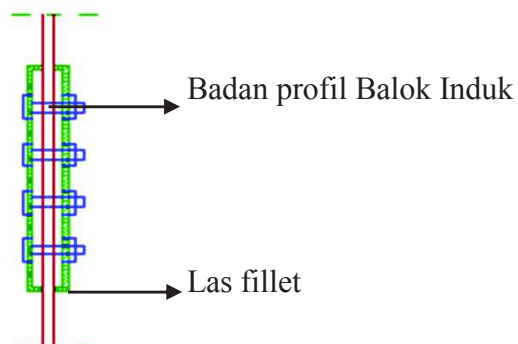
$$\text{tebal efektif (t}_e\text{)} = 0,707 \text{ a}$$

$$= 0,707 \times 5$$

$$= 3,535 \text{ mm}$$



Panjang bagian yang dilas (L)



$$L = \left[ 2 \times t \right] + \ell$$

$$= \left[ (2 \times 7,9375) + 228,6 \right] \times 2$$

$$= 488,95 \text{ mm}$$

Luas efektif las :

$$A_{we} = L \times t_e$$

$$= 488,95 \times 3,535$$

$$= 1728,4383 \text{ mm}^2$$

Kuat nominal las per mm<sup>2</sup> :

$$f_{nw} = 0,6 \times f_{uw}$$

$$= 0,6 \times 506$$

$$= 303,6 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\phi V_{nw} = 0,75 \times t_e \times (0,6 \times f_{uw}) \times L$$

$$= 0,75 \times 3,535 \times (0,6 \times 506) \times 488,95$$

$$= 393565,39 \text{ N}$$

Panjang daerah yang di las (L)

Syarat :

$$V_u < \phi V_{nw}$$

$$275755,06 \text{ N} < 393565,3895 \text{ N}$$

### 5.1.2 Merencanakan Sambungan flens balok dengan kolom

Desain plat pengambung pada flens balok

Menghitung gaya pada sayap balok :

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d} = \frac{383949342}{600} = 639915,57 \text{ N}$$

Untuk baut A325 dengan  $\phi = 7/8 \text{ in}$  menurut tabel 8.11 AISC

2010, maka gaya geser yang ditahan oleh satu balok yakni :

$$\phi R_n = 21,6 \text{ kips} = 96081,552 \text{ N}$$

$$n = \frac{P_{uf}}{\phi R_n} = \frac{639915,57}{96081,552} = 6,6601 \approx 8 \text{ buah}$$

Digunakan plat 7 / 8 in x 8 in

*Jumlah baut yang diperlukan untuk menahan kuat tumpu*

1) Kontrol Nominal tumpu :

- Pada lubang baut bagian plat siku

$$\begin{aligned} R_n &= 1,2 \times l_c \times t_p \times f_{up} < 2,4 \times d \times t_w \times f_u \\ &= 1,2 \times 50 \times 22 \times 370 \\ &= 493395 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n \text{ siku}} &= 0,75 \times 493395 \\ &= 370046,25 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada lubang baut bagian flens balok induk

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_f \times f_u \\ &= 2,4 \times 29 \times 20 \times 370 \\ &= 507492 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n \text{ web}} &= 0,75 \times 507492 \\ &= 380619 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil kuat nominal tumpu terkecil yakni = 370046,25 N

2) Perhitungan Jumlah Baut

$$n = \frac{V_u}{\phi R_{nv}} = \frac{275755,06}{370046,25} = 0,7452 \approx 4 \text{ baut}$$

3) Kontrol kekuatan baut



$$\begin{aligned}
 V_{ub} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_n \\
 &= \frac{275755,06}{4} \\
 &= 68938,765 \text{ N} < 370046,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah baut memenuhi kuat geser perlu

4) Menghitung jarak baut

- Jarak Tepi Baut

Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015

untuk baut dengan diameter :  $7/8$  mm, yakni 28,575 mm

Jarak tepi Maksimum ( $S_{maks}$ ) adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 4 t_p + 100 \\
 &= 4 \times 22,225 + 100 \\
 &= 188,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 200 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S_1 = 50 \text{ mm}$

$$S_{1 \min} = 29 \text{ mm} \leq S_1 = 50 \text{ mm} < S_{1 \max} = 189 \text{ mm}$$

- Jarak antar baut S

$$\begin{aligned}
 2 \frac{2}{3} db < S < 15 t_p \text{ atau } 200 \text{ mm} \\
 2 \frac{2}{3} \times 24 < S < 15 \times 22 \text{ atau } 200 \text{ mm} \\
 32 < 100 < 200
 \end{aligned}$$

Digunakan jarak 100 mm

Karena jumlah baut terhadap geser = 8 > jumlah baut yang dikontrol terhadap tumpu = 4 maka yang digunakan = 8

Pemeriksaan terhadap kuat tarik dari plat

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,90 \times f_y \times A_g \\
 &= 0,90 \times 240 \times [22,225 \times 203,2] \\
 975481,92 \text{ N} &> P_{uf} = 639915,57
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan terhadap faktor dari plat sayap :

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,90 \times f_u \times A_n \\
 &= 0,90 \times 370 \times [203,2 - 2 \times (29 + 2)] \times 22,2 \\
 1051301,4 \text{ N} &> P_{uf} = 639915,57
 \end{aligned}$$

#### • Kontrol kekuatan geser blok plat

Pada balok , sebagai berikut :

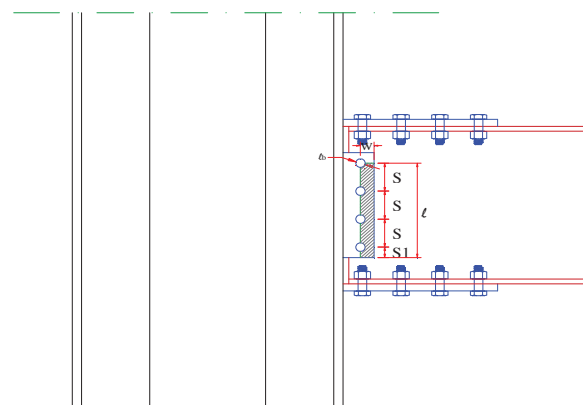
$$R_n = 0,60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Dimana :

$U_{bs}$  = Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J4.3, nilai  $U_{bs}$  diambil sebesar

1,0 untuk tegangan tarik merata

$$\begin{aligned}
 \ell &= S + S + S + S + S_1 \\
 &= 100 + 100 + 100 + 100 + 50 \\
 &= 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.2 Luasan Geser blok Sambungan Blok induk - Kolom

1) Luasan Geser pada Pelat sayap

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned} A_{gv} &= tp \times \ell \\ &= 22,225 \times 450 \\ &= 10001 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- Lebar lubang ( $\ell_b$ ) :

$$\begin{aligned} \ell_b &= db + 2 \\ &= 22,225 + 2 \\ &= 24,225 \text{ mm} \end{aligned}$$

- $\ell_b \text{ total} = \ell_b \times \text{jumlah lubang}$ 
$$\begin{aligned} &= 24,225 \times 7,5 \\ &= 181,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

- $A_{nv} = tp \times (\ell - \ell_b \text{ total})$ 
$$\begin{aligned} &= 22,225 \times (450 - 181,7) \\ &= 5963,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} A_{nv} &< 85\% \times A_{gv} \\ 5963 \text{ mm}^2 &< 85\% \times 10001 \\ 5963 \text{ mm}^2 &< 8501 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

## 2) Luasan Tarik pada Pelat penyambung

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned} A_{gt} &= tp \times S_1 \\ &= 22 \times 50 \\ &= 1111,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- Lebar lubang ( $\ell_b$ ) :

$$\begin{aligned}\ell_b &= db + 2 \\ &= 22 + 2 \\ &= 24 \text{ mm}\end{aligned}$$

- $\ell_b \text{ total} = \ell_b \times \text{jumlah baut}$   
 $= 24 \times 1,5$   
 $= 36,338 \text{ mm}$

- $A_{nt} = tp \times (\ell - \ell_b \text{ total})$   
 $= 22 \times (50 - 36)$   
 $= 303,65 \text{ mm}^2$

Syarat :

$$A_{nt} < 85\% \times A_{gt}$$

$$304 \text{ mm}^2 < 85\% \times 1111,3$$

$$304 \text{ mm}^2 < 945 \text{ mm}^2$$

- 3) Kuat nominal berdasarkan keruntuhan dan tegangan putus :

$$\begin{aligned}R_{nF} &= 0,6 \times f_u \times A_{nv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \\ &= 0,6 \times 370 \times 5963,2 + 1,0 \times 370 \times 303,65 \\ &= 1215550,5 \text{ N}\end{aligned}$$

- 3) Kuat nominal berdasarkan leleh dan tegangan putus :

$$\begin{aligned}R_{nL} &= 0,6 \times f_y \times A_{gv} + U_{bs} \times f_u \times A_{nt} \\ &= 0,6 \times 240 \times 10001 + 1,0 \times 370 \times 303,65 \\ &= 1552530,2 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat

$$R_{nF} < R_{nL}$$

$$1215551 \text{ N} < 1552530 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi R_{nF} &= 0,75 \times 1215550,5 \\ &= 911662,9 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat

$$\begin{aligned}\phi R_{nF} &> R_u \\ 911663 \text{ N} &> 275755 \text{ N}\end{aligned}$$

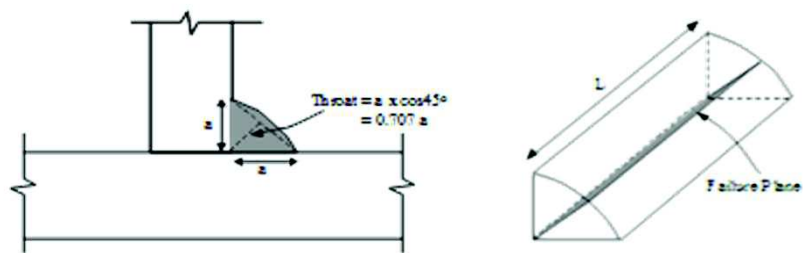
Digunakan sambungan las fillet plat pada flens kolom :

Sambungan las yang digunakan yakni electrode E7014

$$f_{uw} = 506 \text{ Mpa}$$

$$\text{tebal las rencana (a)} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{tebal efektif (t}_e\text{)} &= 0,707 \text{ a} \\ &= 0,707 \times 10 \\ &= 7,07 \text{ mm}\end{aligned}$$



Gambar 5.3 Luasan Las Rencana

Panjang bagian yang dilas (L)

$$\begin{aligned}L &= \left[ (2 \times t) + 2 \times \ell \right] \times 2 \\ &= \left[ (2 \times 22,225) + 406,4 \right] \times 2 \\ &= 901,7 \text{ mm}\end{aligned}$$

Luas efektif las :

$$A_{we} = L \times t_e$$

$$= 901,7 \times 7,07$$

$$= 6375,019 \text{ mm}^2$$

Kuat nominal las per mm<sup>2</sup> :

$$p_{nw} = 0,6 \times f_{uw}$$

$$= 0,6 \times 506$$

$$= 303,6 \text{ Mpa}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\phi P_{nw} = 0,75 \times t_e \times (0,6 \times f_{uw}) \times L$$

$$= 0,75 \times 7,07 \times (0,6 \times 506) \times 901,7$$

$$= 1451591,8 \text{ N}$$

Panjang daerah yang di las (L)

Syarat :

$$\phi P_{nw} > P_{uf}$$

$$1451591,8 \text{ N} > 639915,57 \text{ N}$$

Pemeriksaan kuat tekan plat dengan mengasumsikan  $K_c = 0,65$

dan  $\ell =$  Jarak tepi baut

$$= 50$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{203,2 \times 22,225^3 / 12}{203,2 \times 22,225}} = 6,4158049$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{0,65 \times 50}{6,415804866} = 5,0656$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,97$$

Karena,  $KL / r < 4,71 \sqrt{(E / Q f_y)}$  Maka  $F_{cr}$  dirumuskan :

$$F_{cr} = \left( 0,658 \sqrt{\frac{Q f_y}{F_e}} \right) f_y$$

Dimana :

$F_e$  = tegangan tekuk kritis elastis (Mpa). Untuk tekuk kritis lentur,

$F_e$  dihitung dengan menggunakan persamaan E3-4 SNI 1729 :

2015 sebagai berikut :

$$= \frac{\pi^2 E}{(KL / r_x)^2} = \frac{3,14^2 \times 200000}{5,07^2} = 389275,5 \text{ MPa}$$

Maka, tegangan kritis dihitung sebagai berikut :

$$F_{cr} = \left( 0,658^{\frac{240}{389275,5}} \right) \times 240$$

$$= 239,93808 \text{ Mpa}$$

Desain kuat tekak A

$$P_n = F_{cr} \times A$$

$$= 239,94 \times 203,2 \times 22,225$$

$$= 1083589,1 \text{ N}$$

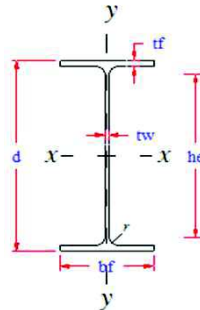
Syarat :  $\phi P_n > P_{uf}$

$$0,85 \times 1083589,1 > 639915,57 \text{ N}$$

$$921050,7733 \text{ N} > 639915,57 \text{ N}$$

## 5.2 Sambungan Balok Induk - Balok Anak

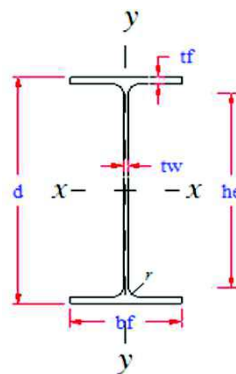
Digunakan profil WF balok induk 600 x 200 x 8 x 13



Dari tabel baja diperoleh :

|                |             |                |                           |                |                          |
|----------------|-------------|----------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| d              | : 600,0 mm  | r              | : 16,0 mm                 | $I_y$          | : 1740,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 200,0 mm  | H <sub>1</sub> | : 29,0 mm                 | r <sub>x</sub> | : 29,00 cm               |
| t <sub>w</sub> | : 8,0 mm    | H <sub>2</sub> | : 542,0 mm                | r <sub>y</sub> | : 5,10 cm                |
| t <sub>f</sub> | : 13,0 mm   | w              | : 75,96 Kg/m              | S <sub>x</sub> | : 1856,1 cm <sup>3</sup> |
| A <sub>g</sub> | : 66,0 Kg/m | I <sub>x</sub> | : 55683,6 cm <sup>4</sup> | S <sub>y</sub> | : 174,0 cm <sup>3</sup>  |
| f <sub>u</sub> | : 370 MPa   | E <sub>s</sub> | : 200000 MPa              |                |                          |
| f <sub>y</sub> | : 240 MPa   | h <sub>e</sub> | : 542,0 mm                |                |                          |

Digunakan profil WF balok anak 450 x 150 x 6,5 x 9



Dari tabel baja diperoleh :

|                |            |                |            |                |                         |
|----------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------------------|
| d              | : 450,0 mm | r              | : 13,0 mm  | $I_y$          | : 508,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 150,0 mm | H <sub>1</sub> | : 22,0 mm  | r <sub>x</sub> | : 22,00 cm              |
| t <sub>w</sub> | : 6,5 mm   | H <sub>2</sub> | : 406,0 mm | r <sub>y</sub> | : 3,70 cm               |



$$\begin{aligned}
 t_f &: 9,0 \text{ mm} & w &: 36,70 \text{ Kg/m} & S_x &: 750,9 \text{ cm}^3 \\
 A_g &: 56,5 \text{ cm}^2 & I_x &: 16895,1 \text{ cm}^4 & S_y &: 67,7 \text{ cm}^3 \\
 h_e &: 406,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Baut yang digunakan yakni :

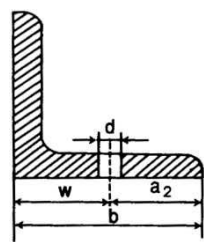
$$\begin{aligned}
 \text{Diameter baut } (d_b) &= 7/8 \text{ in} = 22,23 \text{ mm} \\
 \text{Luas Baut } (A_b) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \varnothing^2 = 387,75 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas lubang } (l_b) &= d_b + 2 = 24,225 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mutu baut yang digunakan (menurut SNI 1729 : 2015, Tabel J3.2, hal 125), yakni :

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu baut} &= A325 \\
 \text{Kuat tarik minimum } (f_{ub}) &= 620 \text{ Mpa} \\
 \text{Tegangan geser baut } (f_{nv}) &= 372 \text{ Mpa (ulir drat, 1 bisang geser)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan plat siku penyambung 80 x 80 x 6

Dimensi penampang : b = 80 mm (Tabel Profil Konstruksi



$$\begin{aligned}
 t &= 80 \text{ mm baja, Ir. Morisco, hal 38)} \\
 w &= 45 \text{ mm} \\
 db_{maks} &= 23 \text{ mm} \\
 t_p &= 6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

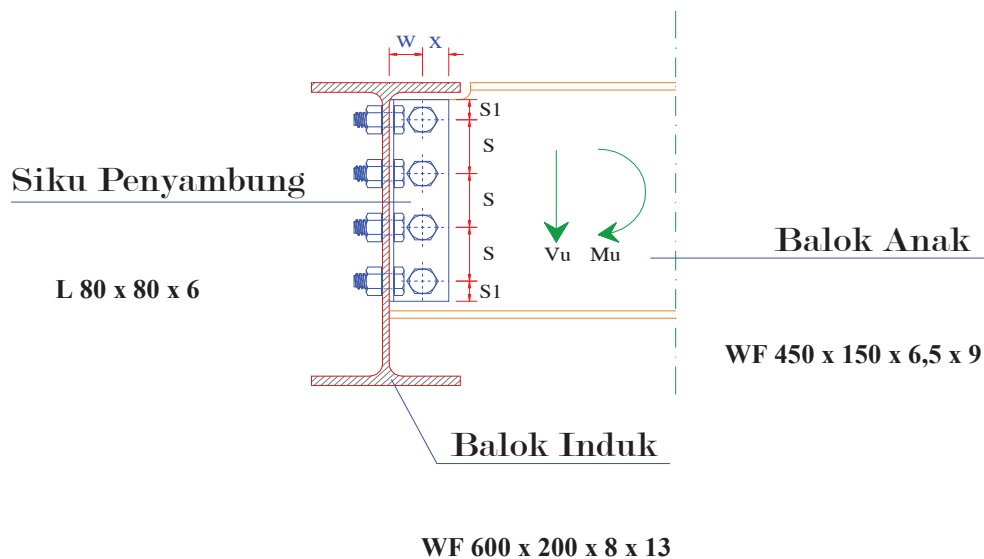
Mutu siku penyambung yang digunakan yakni : BJ 37

$$\begin{aligned}
 f_{yp} &= 240 \text{ Mpa} \\
 f_{up} &= 370 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil output dari program etabs untuk balok anak :

$$\begin{aligned}
 M_u &: 213073800 \text{ Nmm} \\
 V_u &: 171390 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sambungan direncanakan sebagai berikut :



Gambar 5.4 Perencanaan Sambungan Balok Anak - Balok Induk

## 5.2.1 Kontrol terhadap Geser, Tumpu dan Tarik

1) Kontrol Nominal tumpu :

- Pada lubang baut bagian plat siku

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 2,4 \times 22,23 \times 6 \times 370 \\ &= 118414,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n \text{ siku}} &= 0,75 \times 118414,8 \\ &= 88811,1 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada lubang baut bagian web dari balok anak

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_w \times f_u \\ &= 2,4 \times 22,23 \times 7 \times 370 \\ &= 128282,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi R_{n \text{ web}} = 0,75 \times 128282,7$$

$$= 96212,025 \text{ N}$$

Diambil kuat nominal tumpu terkecil yakni = 88811,1 N

2) *Kuat Nominal Geser Baut ( 2 bidang geser )*

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.6, kuat geser baut dihitung :

$$\begin{aligned} R_{nv} &= f_{nv} \times A_b \times m \\ &= 372 \times 387,75 \times 2 \\ &= 288486,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= 0,75 \times 288486,92 \\ &= 216365,19 \text{ N} \end{aligned}$$

3) *Kuat Nominal Tarik Baut*

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.6, kuat tarik baut dihitung :

$$\begin{aligned} R_{nv} &= f_{nt} \times A_b \\ &= 620 \times 387,75 \\ &= 240405,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= 0,75 \times 240405,77 \\ &= 180304,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil yang terkecil yakni : 88811,1 N

## 5.2.2 Jumlah baut dan jarak antar baut

1) *Perhitungan Jumlah Baut*

$$n = \frac{Vu}{\phi R_n} = \frac{171390}{88811,1} = 1,9298 \approx 4 \text{ baut}$$

2) *Menghitung jarak baut*

- Jarak Tepi Baut

Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015

untuk baut dengan diameter :  $\frac{7}{8}$  in, yakni  $1 \frac{1}{8}$  in

Jarak tepi Maksimum ( $S_{max}$ ) menurut SNI 1729 : 2015 pasal

J3.5 adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 12 \text{ tp} \\ &= 12 \times 6 \\ &= 72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 150 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 72 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S_1 = 50 \text{ mm}$

- Jarak antar baut  $S$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.3, jarak minimum baut :

$$\begin{aligned} S_{min} &= 3 \text{ d} \\ &= 3 \times 22,225 \\ &= 66,675 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.5(a), jarak maksimum baut adalah yang terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 24 \text{ tp} \\ &= 24 \times 6 \\ &= 144 \text{ mm} \end{aligned}$$

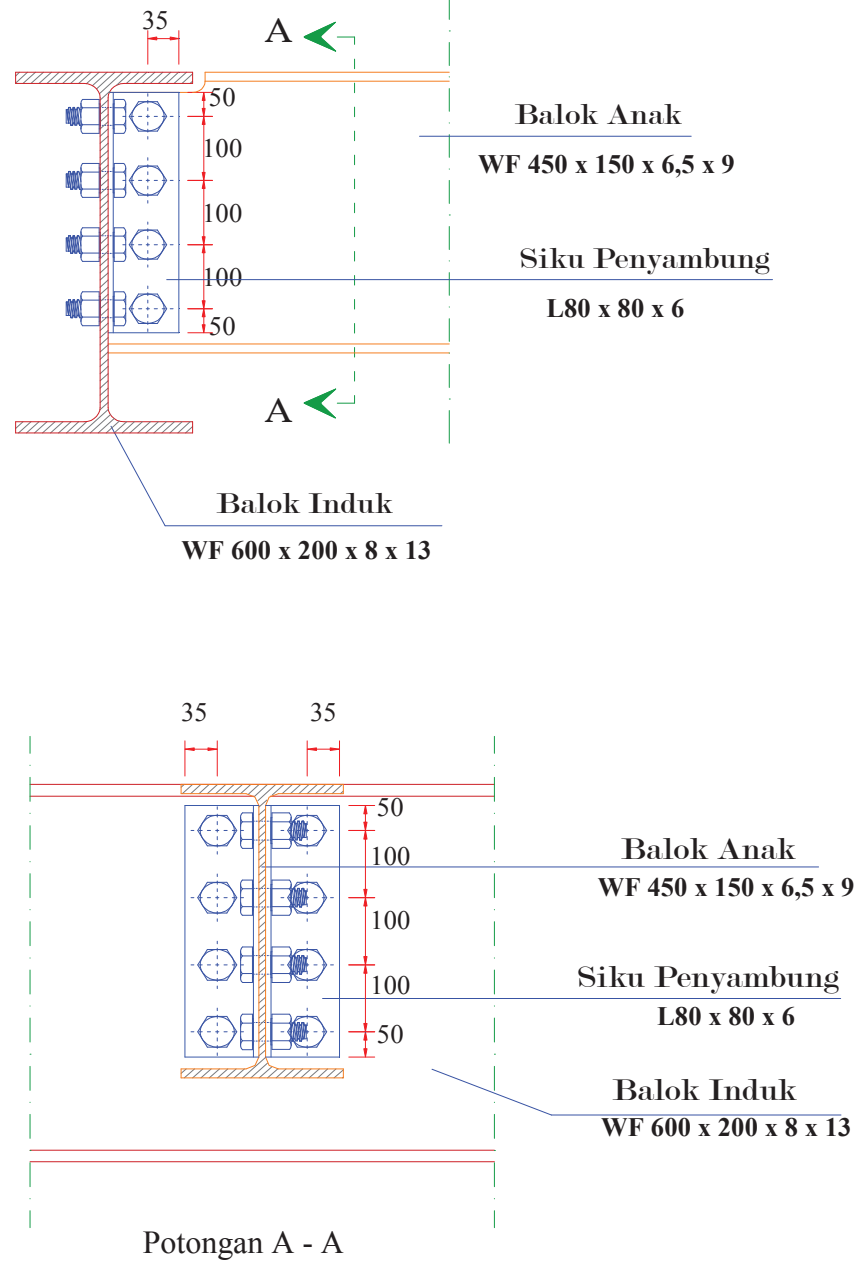
$$S_{maks} = 305 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 144 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S = 100 \text{ mm}$

- Jarak baut ke web balok induk ( $w$ )

$$\begin{aligned} w &= 45 \text{ mm} \\ x &= b - w \\ &= 80 - 45 \\ &= 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar perencanaan lerak baut sebagai berikut :



Gambar 5.5 Letak dan jarak antar baut

### 5.2.3 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Geser

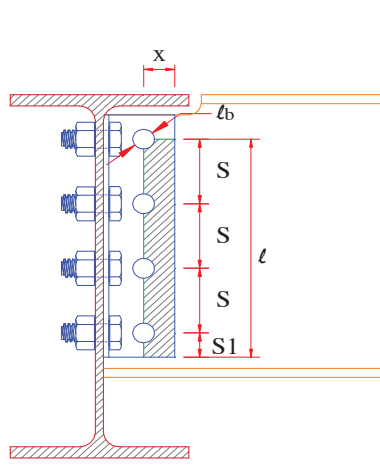
$$\begin{aligned}
 V_{ub} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_{nv} \\
 &= \frac{171390}{4} \\
 &= 42847,5 \text{ N} < 216365,19 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### 5.2.4 Kontrol Kekuatan Geser Blok Baut

Kontrol kekuatan geser blok pada balok anak sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \ell &= S + S + S + S_1 \\
 &= 100 + 100 + 100 + 50 \\
 &= 350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{bs} &= \text{Koefisien reduksi, bila tegangan tarik merata maka } U_{bs} \text{ senilai} \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$



#### 1) Luasan Geser pada Pelat Siku

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= tp \times \ell \\
 &= 6 \times 350 \\
 &= 2100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- $$\begin{aligned}\ell_b \text{ total} &= \ell_b \times \text{jumlah lubang} \\ &= 24,225 \times 3,5 \\ &= 84,788 \text{ mm}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}A_{nv} &= tp \times (\ell - \ell_b \text{ total}) \\ &= 6 \times (350 - 85) \\ &= 1591,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}A_{nv} &< 85\% \times A_{gv} \\ 1591 \text{ mm}^2 &< 85\% \times 2100 \\ 1591 \text{ mm}^2 &< 1785 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

## 2) Luasan Tarik pada Pelat Siku

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned}A_{gt} &= tp \times x \\ &= 6 \times 35 \\ &= 210 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- $$\begin{aligned}\ell_b \text{ total} &= \ell_b \times \text{jumlah lubang} \\ &= 24,225 \times 0,5 \\ &= 12,113 \text{ mm}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}A_{nt} &= tp \times (\ell - \ell_b \text{ total}) \\ &= 6 \times (35 - 12) \\ &= 137,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$A_{nt} < 85\% \times A_{gt}$$

$$137 \text{ mm}^2 < 85\% \times 210$$

$$137 \text{ mm}^2 < 179 \text{ mm}^2$$

3) Kuat nominal dihitung sebagai berikut :

Menurut AISC - LRFD pasal J4.1, kuat putus geser dihitung :

$$\begin{aligned} 0,6 f_u A_{nv} &= 0,6 \times 370 \times 1591,3 \\ &= 353263,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut AISC - LRFD pasal J4.2, kuat putus tarik dihitung :

$$\begin{aligned} f_u A_{nt} &= 370 \times 137,33 \\ &= 50810 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut, AISC - LRFD pasal J4.3, kuat geser blok dihitung :

Apabila  $f_u A_{nt} < 0,6 f_u A_{nv}$  , maka :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi [0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] \leq \phi [0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] \\ &= 0,75 \times [0,6 \times 370 \times 1591,3 + 1 \times 370 \times 137] \\ &\leq 0,75 \times [0,6 \times 240 \times 2100 + 1 \times 370 \times 137] \\ &= 303055,0 \text{ N} > 264907,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Konfigurasi blok geser yang menentukan adalah yang menghasilkan

tahanan geser terkecil, maka kuat leleh pelat menentukan :

$$\phi R_n = 264907,7 \text{ N}$$

Syarat :

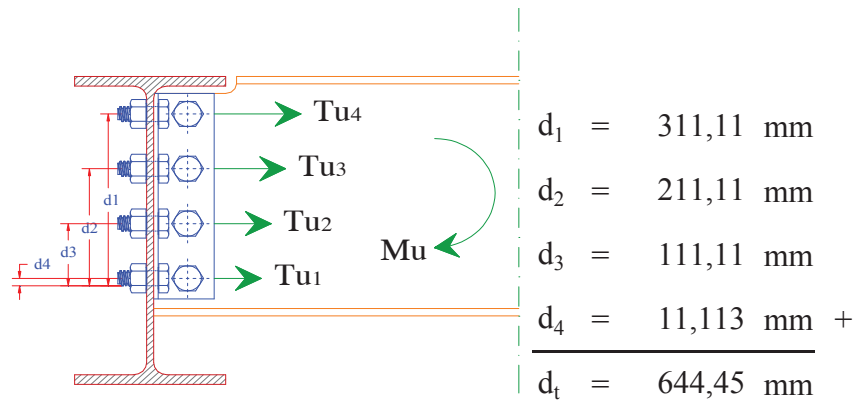
$$\phi R_n > V_u$$

$$264908 \text{ N} > 171390 \text{ N}$$



### 5.2.5 Kontrol kekuatan baut terhadap tarik

Kontrol kekuatan baut pada balok induk terhadap tarik yang disebabkan oleh momen ultimit yakni :



Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$T_{u1} = \frac{M_u \times d_4}{d_t^2} = \frac{213073800 \times 11,113}{644^2} = 5701,2 \text{ N}$$

$$T_{u2} = \frac{M_u \times d_3}{d_t^2} = \frac{213073800 \times 111,11}{644^2} = 57005 \text{ N}$$

$$T_{u3} = \frac{M_u \times d_2}{d_t^2} = \frac{213073800 \times 211,11}{644^2} = 108309 \text{ N}$$

$$T_{u4} = \frac{M_u \times d_1}{d_t^2} = \frac{213073800 \times 311,11}{644^2} = 159613 \text{ N}$$

Gaya Tarik pada baut

$$\begin{aligned} T_b &= A_b \times f_{ub} \\ &= 387,75 \times 620 \\ &= 240405,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= \phi T_b \\
 &= 0,75 \times 240405,77 \\
 &= 180304,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena dalam 1 baris terdiri dari 2 baut, maka

$$\begin{aligned}
 T_{d2} &= 2 \times T_d \\
 &= 2 \times 180304,33 \\
 &= 360608,65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } T_u < T_d$$

$$T_{u1} = 5701,2 < 360608,65$$

$$T_{u2} = 57005,2 < 360608,65$$

$$T_{u3} = 108309,2 < 360608,65$$

$$T_{u4} = 159613,3 < 360608,65$$

Kontrol kekuatan baut pada balok induk terhadap tarik yang disebabkan oleh momen akibat reaksi dan jarak baut (w) :

$$\begin{aligned}
 M_u &= w \times V_u \\
 &= 45 \times 171390 \\
 &= 7712550 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$T_{u1} = \frac{M_u \times d_4}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 11,113}{644^2} = 206,4 \text{ N}$$

$$T_{u2} = \frac{M_u \times d_3}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 111,11}{644^2} = 2063 \text{ N}$$

$$T_{u3} = \frac{M_u \times d_2}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 211,11}{644^2} = 3920 \text{ N}$$

$$T_{u4} = \frac{M_u \times d_1}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 311,11}{644^2} = 5777 \text{ N}$$

Gaya Tarik pada dua baut dalam 1 baris

$$T_{d2} = 360608,65 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } T_u < T_d$$

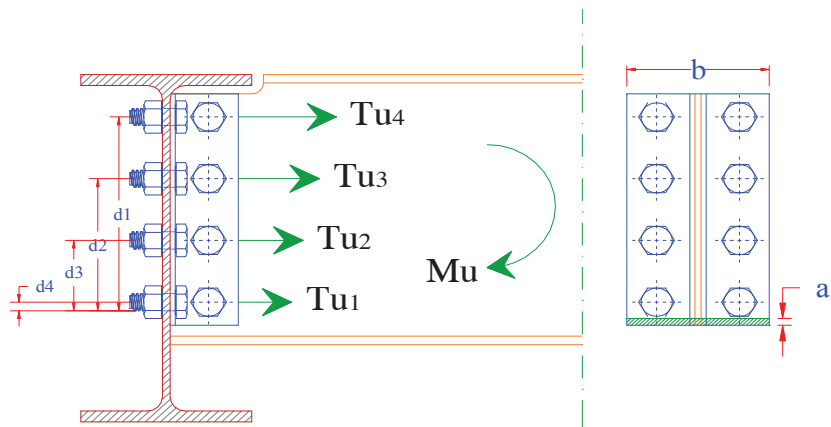
$$T_{u1} = 206,4 < 360608,65$$

$$T_{u2} = 2063,4 < 360608,65$$

$$T_{u3} = 3920,4 < 360608,65$$

$$T_{u4} = 5777,5 < 360608,65$$

### 5.2.6 Kontrol kekuatan baut terhadap momen



Gambar 5.6 Skema kekuatan tarik baut

$$\text{Kuat nominal 1 baut terhadap tarik (Td)} = 180304 \text{ N}$$

$$\text{Garis netral diasumsikan } < S_1 = 50 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sum T &= T_{u1} + T_{u2} + T_{u3} + T_{u4} + T_{u5} \\ &= 5701,2 + 57005,21 + 108309,25 + 159613,29 \\ &= 330628,91 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T d_2 \times d_2 = 360608,65 \times 311,11 = 112189859,8 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_3 = 360608,65 \times 211,11 = 76128994,42 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_4 = 360608,65 \times 111,11 = 40068129,04 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_5 = 360608,65 \times 11,113 = 4007263,665 \text{ Nmm}$$

$$\sum_{i=1}^n T d \cdot d_i = 232394246,9 \text{ Nmm}$$

Garis netral pada pelat siku (a) :

$$a = \frac{\sum T}{f_{yp} \times b} = \frac{330628,9}{240 \times 166,5}$$

$$= 8,2739967 \text{ mm} < S_1 = 50 \text{ mm} \text{ Maka asumsi benar.}$$

Momen rencana :

$$\phi M_n = \frac{0,9 \times f_{yp} \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T d \cdot d_i$$

$$= \frac{0,9 \times 240,0 \times 8,274^2 \times 166,5}{2} + 232394246,9$$

$$= 233625277,1 \text{ Nmm}$$

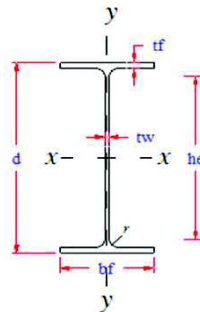
Syarat :

$$M_u < \phi M_n$$

$$213073800 < 233625277 \text{ N}$$

### 5.3 Sambungan Balok Anak - Balok Cucu

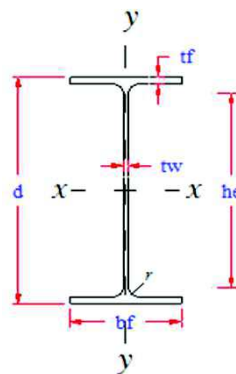
Digunakan profil WF balok anak X19450 x 150 x 6,5 x 9



Dari tabel baja diperoleh :

|                |                        |                |                           |                |                         |
|----------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------|-------------------------|
| d              | : 450,0 mm             | r              | : 13,0 mm                 | $I_y$          | : 508,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 150,0 mm             | H <sub>1</sub> | : 22,0 mm                 | r <sub>x</sub> | : 22,00 cm              |
| t <sub>w</sub> | : 6,5 mm               | H <sub>2</sub> | : 406,0 mm                | r <sub>y</sub> | : 3,70 cm               |
| t <sub>f</sub> | : 9,0 mm               | w              | : 36,70 Kg/m              | S <sub>x</sub> | : 750,9 cm <sup>3</sup> |
| A <sub>g</sub> | : 56,5 cm <sup>2</sup> | I <sub>x</sub> | : 16895,1 cm <sup>4</sup> | S <sub>y</sub> | : 67,7 cm <sup>3</sup>  |
| f <sub>u</sub> | : 370 Mpa              | E <sub>s</sub> | : 200000 MPa              |                |                         |
| f <sub>y</sub> | : 240 MPa              | h <sub>e</sub> | : 406,0 mm                |                |                         |

Digunakan profil WF balok cucu 300 x 100 x 5,5 x 8



Dari tabel baja diperoleh :

|                |            |                |            |                |                         |
|----------------|------------|----------------|------------|----------------|-------------------------|
| d              | : 300,0 mm | r              | : 11,0 mm  | $I_y$          | : 134,0 cm <sup>4</sup> |
| b <sub>f</sub> | : 100,0 mm | H <sub>1</sub> | : 19,0 mm  | r <sub>x</sub> | : 134,0 cm <sup>4</sup> |
| t <sub>w</sub> | : 5,5 mm   | H <sub>2</sub> | : 262,0 mm | r <sub>y</sub> | : 134,0 cm <sup>4</sup> |

$$\begin{aligned}
 t_f &: 8,0 \text{ mm} & w &: 21,30 \text{ Kg/m} & S_x &: 287,1 \text{ cm}^4 \\
 A_g &: 32,7 \text{ mm} & I_x &: 4306,8 \text{ cm}^4 & S_y &: 26,8 \text{ cm}^4 \\
 h_e &: 262,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Baut yang digunakan yakni :

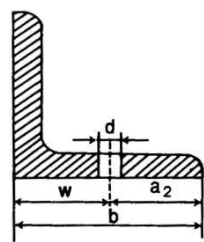
$$\begin{aligned}
 \text{Diameter baut } (d_b) &= 7/8 \text{ in} = 22,23 \text{ mm} \\
 \text{Luas Baut } (A_b) &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \phi^2 = 387,75 \text{ mm}^2 \\
 \text{Luas lubang } (\ell_b) &= d_b + 2 = 24,225 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mutu baut yang digunakan (menurut SNI 1729 : 2015, Tabel J3.2, hal 125), yakni :

$$\begin{aligned}
 \text{Mutu baut} &= A325 \\
 \text{Kuat tarik minimum } (f_{ub}) &= 620 \text{ Mpa} \\
 \text{Tegangan geser baut } (f_{nv}) &= 372 \text{ Mpa (ulir drat, 1 bisang geser)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan plat siku penyambung 80 x 80 x 6

Dimensi penampang : b = 80 mm (Tabel Profil Konstruksi



$$\begin{aligned}
 t &= 80 \text{ mm baja, Ir. Morisco, hal 38)} \\
 w &= 45 \text{ mm} \\
 db_{maks} &= 23 \text{ mm} \\
 t_p &= 6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

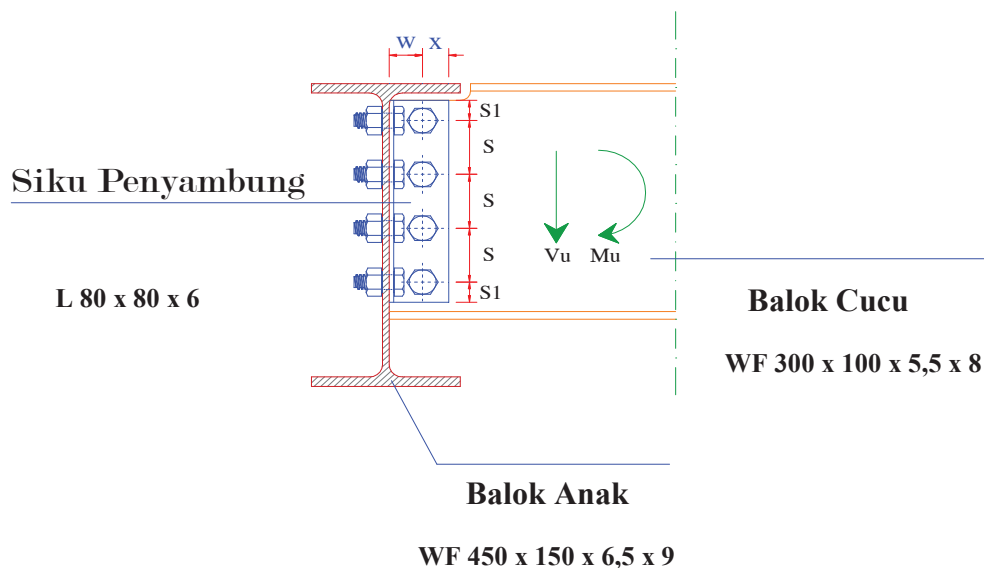
Mutu siku penyambung yang digunakan yakni : BJ 37

$$\begin{aligned}
 f_{yp} &= 240 \text{ Mpa} \\
 f_{up} &= 370 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Hasil output dari program etabs untuk balok anak :

$$\begin{aligned}
 M_u &: 44831200 \text{ Nmm} \\
 V_u &: 171390 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Sambungan direncanakan sebagai berikut :



Gambar 5.7 Perencanaan Sambungan Balok Anak - Balok cucu

### 5.3.1 Kontrol terhadap Geser, Tumpu dan Tarik

1) *Kontrol Nominal tumpu :*

- Pada lubang baut bagian plat siku

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_p \times f_{up} \\ &= 2,4 \times 22,23 \times 6 \times 370 \\ &= 118414,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{n \text{ siku}} &= 0,75 \times 118414,8 \\ &= 88811,1 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada lubang baut bagian web dari balok anak

$$\begin{aligned} R_n &= 2,4 \times d_b \times t_w \times f_u \\ &= 2,4 \times 22,23 \times 6 \times 370 \\ &= 108546,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi R_{n \text{ web}} = 0,75 \times 108546,9$$

$$= 81410,175 \text{ N}$$

Diambil kuat nominal tumpu terkecil yakni = 81410,175 N

2) *Kuat Nominal Geser Baut ( 2 bidang geser )*

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.6, kuat geser baut dihitung :

$$\begin{aligned} R_{nv} &= f_{nv} \times A_b \times m \\ &= 372 \times 387,75 \times 2 \\ &= 288486,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= 0,75 \times 288486,92 \\ &= 216365,19 \text{ N} \end{aligned}$$

3) *Kuat Nominal Tarik Baut*

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.6, kuat tarik baut dihitung :

$$\begin{aligned} R_{nv} &= f_{nt} \times A_b \\ &= 620 \times 387,75 \\ &= 240405,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_{nt} &= 0,75 \times 240405,77 \\ &= 180304,33 \text{ N} \end{aligned}$$

Diambil yang terkecil yakni : 81410,175 N

### 5.3.2 Jumlah baut dan jarak antar baut

1) *Perhitungan Jumlah Baut*

$$n = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{171390}{81410,175} = 2,1053 \approx 4 \text{ baut}$$

2) *Menghitung jarak baut*

- Jarak Tepi Baut

Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015



untuk baut dengan diameter :  $\frac{7}{8}$  in, yakni  $1 \frac{1}{8}$  in

Jarak tepi Maksimum ( $S_{max}$ ) menurut SNI 1729 : 2015 pasal

J3.5 adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 12 \text{ tp} \\ &= 12 \times 6 \\ &= 72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 150 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 72 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S_1 = 30 \text{ mm}$

- Jarak antar baut  $S$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.3, jarak minimum baut :

$$\begin{aligned} S_{min} &= 3 \text{ d} \\ &= 3 \times 22,225 \\ &= 66,675 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.5(a), jarak maksimum baut adalah yang terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 24 \text{ tp} \\ &= 24 \times 6 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

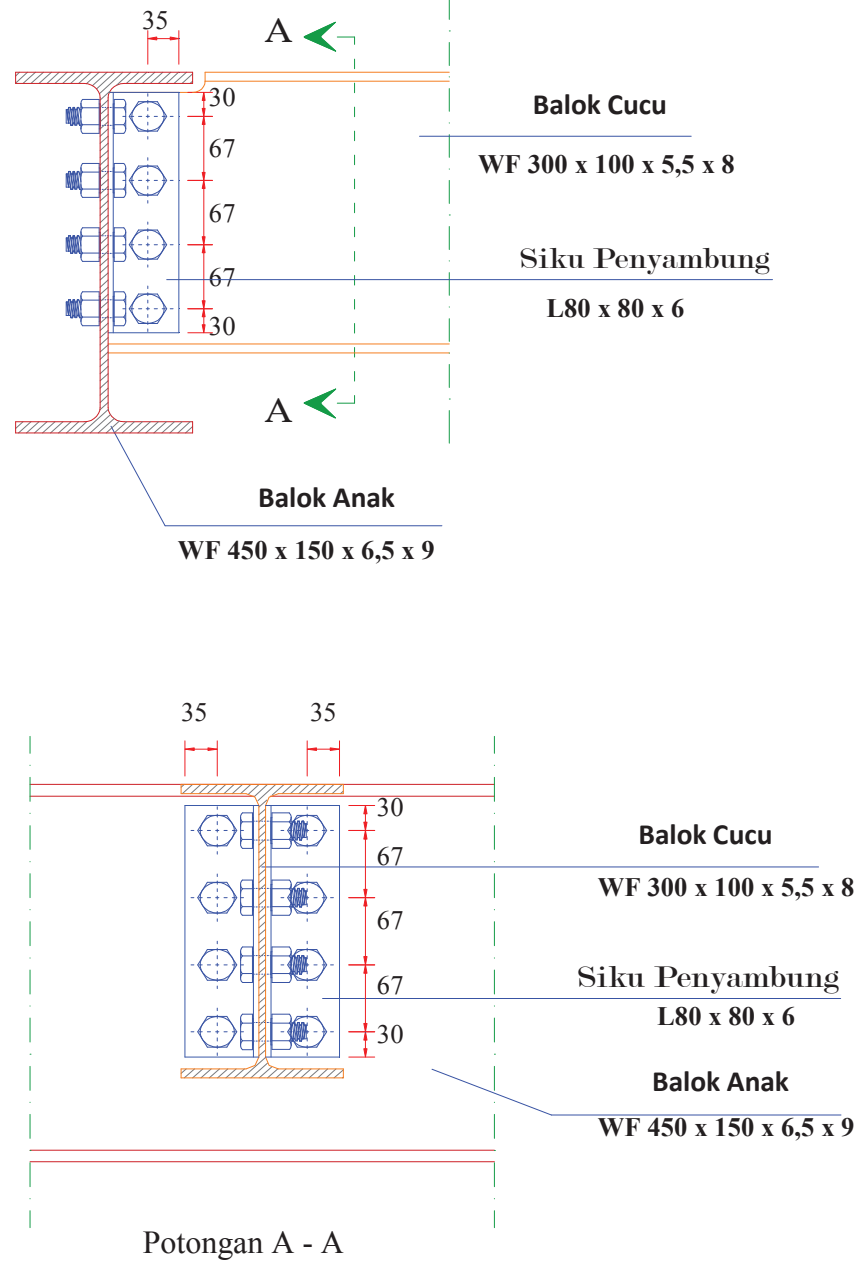
$$S_{maks} = 305 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 132 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S = 67 \text{ mm}$

- Jarak baut ke web balok induk ( $w$ )

$$\begin{aligned} w &= 45 \text{ mm} \\ x &= b - w \\ &= 80 - 45 \\ &= 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gambar perencanaan lerak baut sebagai berikut :



Gambar 5.8 Letak dan jarak antar baut

### 5.3.3 Kontrol Kekuatan Baut Terhadap Geser

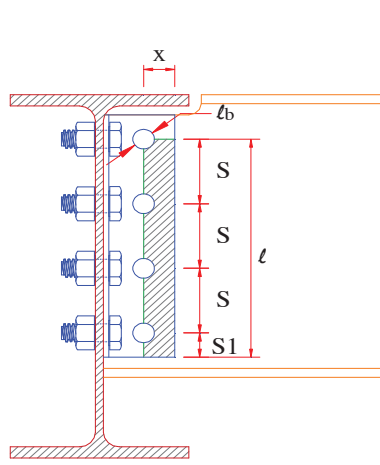
$$\begin{aligned}
 V_{ub} &= \frac{V_u}{n} \leq \phi R_{nv} \\
 &= \frac{171390}{4} \\
 &= 42847,5 \text{ N} < 216365,19 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### 5.3.4 Kontrol Kekuatan Geser Blok Baut

Kontrol kekuatan geser blok pada balok anak sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \ell &= S + S + S + S_1 \\
 &= 67 + 67 + 67 + 30 \\
 &= 231 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{bs} &= \text{Koefisien reduksi, bila tegangan tarik merata maka } U_{bs} \text{ senilai} \\
 &= 1,0
 \end{aligned}$$



#### 1) Luasan Geser pada Pelat Siku

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= tp \times \ell \\
 &= 6 \times 231 \\
 &= 1386 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- $$\begin{aligned}\ell_b \text{ total} &= \ell_b \times \text{jumlah lubang} \\ &= 24,225 \times 3,5 \\ &= 84,788 \text{ mm}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}A_{nv} &= tp \times (\ell - \ell_b \text{ total}) \\ &= 6 \times (231 - 85) \\ &= 877,28 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}A_{nv} &< 85\% \times A_{gv} \\ 877 \text{ mm}^2 &< 85\% \times 1386 \\ 877 \text{ mm}^2 &< 1178 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

## 2) Luasan Tarik pada Pelat Siku

Menghitung Luas bruto ( $A_{gv}$ ) :

$$\begin{aligned}A_{gt} &= tp \times x \\ &= 6 \times 35 \\ &= 210 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menghitung Luas netto ( $A_{nv}$ ) :

- $$\begin{aligned}\ell_b \text{ total} &= \ell_b \times \text{jumlah lubang} \\ &= 24,225 \times 0,5 \\ &= 12,113 \text{ mm}\end{aligned}$$
$$\begin{aligned}A_{nt} &= tp \times (\ell - \ell_b \text{ total}) \\ &= 6 \times (35 - 12) \\ &= 137,33 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat :

$$A_{nt} < 85\% \times A_{gt}$$

$$137 \text{ mm}^2 < 85\% \times 210$$

$$137 \text{ mm}^2 < 179 \text{ mm}^2$$

3) Kuat nominal dihitung sebagai berikut :

Menurut AISC - LRFD pasal J4.1, kuat putus geser dihitung :

$$\begin{aligned} 0,6 f_u A_{nv} &= 0,6 \times 370 \times 877,28 \\ &= 194755,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut AISC - LRFD pasal J4.2, kuat putus tarik dihitung :

$$\begin{aligned} f_u A_{nt} &= 370 \times 137,33 \\ &= 50810 \text{ N} \end{aligned}$$

Menurut, AISC - LRFD pasal J4.3, kuat geser blok dihitung :

Apabila  $f_u A_{nt} < 0,6 f_u A_{nv}$  , maka :

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi [0,6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] \leq \phi [0,6 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] \\ &= 0,75 \times [0,6 \times 370 \times 877,28 + 1 \times 370 \times 137] \\ &\leq 0,75 \times [0,6 \times 240 \times 1386 + 1 \times 370 \times 137] \\ &= 184174,0 \text{ N} < 187795,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Konfigurasi blok geser yang menentukan adalah yang menghasilkan tahanan geser terkecil, maka kuat runtuh/ fraktur pelat menentukan :

$$\phi R_n = 184174,0 \text{ N}$$

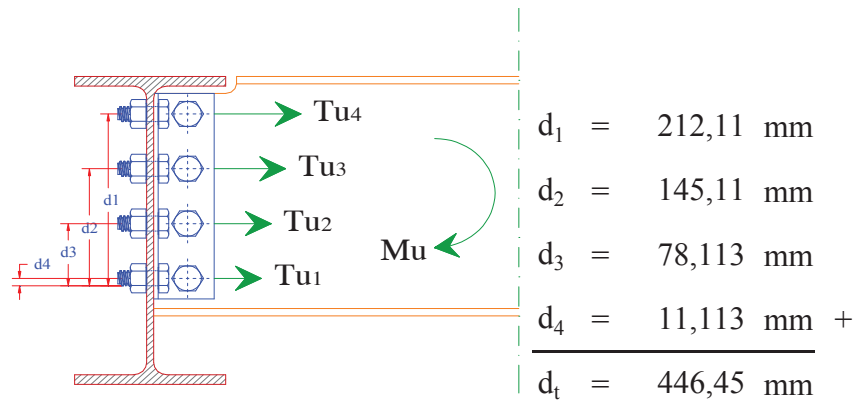
Syarat :

$$\phi R_n > V_u$$

$$184174 \text{ N} > 171390 \text{ N}$$

### 5.3.5 Kontrol kekuatan baut terhadap tarik

Kontrol kekuatan baut pada balok induk terhadap tarik yang disebabkan oleh momen ultimit yakni :



Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$T_{u1} = \frac{M_u \times d_4}{d_t^2} = \frac{44831200 \times 11,113}{446^2} = 2499,5 \text{ N}$$

$$T_{u2} = \frac{M_u \times d_3}{d_t^2} = \frac{44831200 \times 78,113}{446^2} = 17569 \text{ N}$$

$$T_{u3} = \frac{M_u \times d_2}{d_t^2} = \frac{44831200 \times 145,11}{446^2} = 32639 \text{ N}$$

$$T_{u4} = \frac{M_u \times d_1}{d_t^2} = \frac{44831200 \times 212,11}{446^2} = 47709 \text{ N}$$

Gaya Tarik pada baut

$$\begin{aligned} T_b &= A_b \times f_{ub} \\ &= 387,75 \times 620 \\ &= 240405,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= \phi T_b \\
 &= 0,75 \times 240405,77 \\
 &= 180304,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena dalam 1 baris terdiri dari 2 baut, maka

$$\begin{aligned}
 T_{d2} &= 2 \times T_d \\
 &= 2 \times 180304,33 \\
 &= 360608,65 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } T_u < T_d$$

$$T_{u1} = 2499,5 < 360608,65$$

$$T_{u2} = 17569,3 < 360608,65$$

$$T_{u3} = 32639,2 < 360608,65$$

$$T_{u4} = 47709,1 < 360608,65$$

Kontrol kekuatan baut pada balok induk terhadap tarik yang disebabkan oleh momen akibat reaksi dan jarak baut (w) :

$$\begin{aligned}
 M_u &= w \times V_u \\
 &= 45 \times 171390 \\
 &= 7712550 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol terhadap tarik baut

Gaya Tarik Perlu (pada 2 baut dalam 1 baris)

$$T_{u1} = \frac{M_u \times d_4}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 11,113}{446^2} = 430,0 \text{ N}$$

$$T_{u2} = \frac{M_u \times d_3}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 78,113}{446^2} = 3023 \text{ N}$$

$$T_{u3} = \frac{M_u \times d_2}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 145,11}{446^2} = 5615 \text{ N}$$

$$T_{u4} = \frac{M_u \times d_1}{d_t^2} = \frac{7712550 \times 212,11}{446^2} = 8208 \text{ N}$$

Gaya Tarik pada dua baut dalam 1 baris

$$T_{d2} = 360608,65 \text{ N}$$

$$\text{Syarat : } T_u < T_d$$

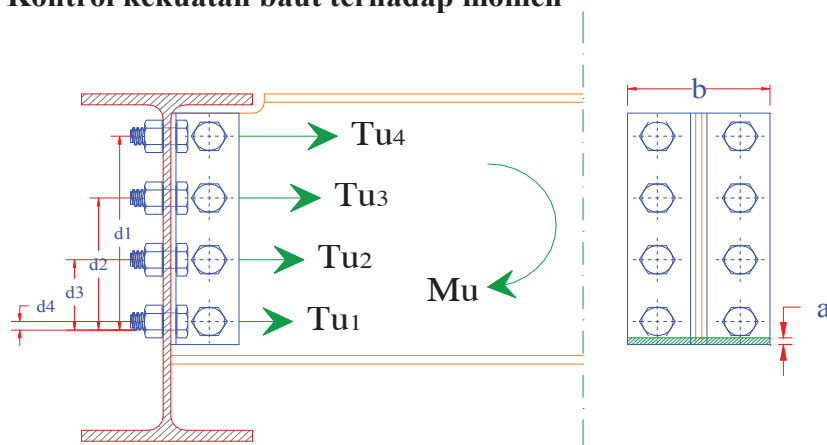
$$T_{u1} = 430,0 < 360608,65$$

$$T_{u2} = 3022,5 < 360608,65$$

$$T_{u3} = 5615,1 < 360608,65$$

$$T_{u4} = 8207,6 < 360608,65$$

### 5.3.6 Kontrol kekuatan baut terhadap momen



Gambar 5.9 Skema kekuatan tarik baut

$$\text{Kuat nominal 1 baut terhadap tarik (Td)} = 180304 \text{ N}$$

$$\text{Garis netral diasumsikan } < S_1 = 30 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \sum T &= T_{u1} + T_{u2} + T_{u3} + T_{u4} + T_{u5} \\ &= 2499,5 + 17569,33 + 32639,20 + 47709,07 \\ &= 100417,07 \text{ N} \end{aligned}$$



$$T d_2 \times d_2 = 360608,65 \times 212,11 = 76489603,08 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_3 = 360608,65 \times 145,11 = 52328823,27 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_4 = 360608,65 \times 78,113 = 28168043,47 \text{ Nmm}$$

$$T d_2 \times d_5 = 360608,65 \times 11,113 = 4007263,665 \text{ Nmm}$$

$$\sum_{i=1}^n T d \cdot d_i = 160993733,5 \text{ Nmm}$$

Garis netral pada pelat siku (a) :

$$a = \frac{\sum T}{f_{yp} \times b} = \frac{100417,1}{240 \times 165,5} = 2,5281236 \text{ mm} < S_1 = 30 \text{ mm} \text{ Maka asumsi benar.}$$

Momen rencana :

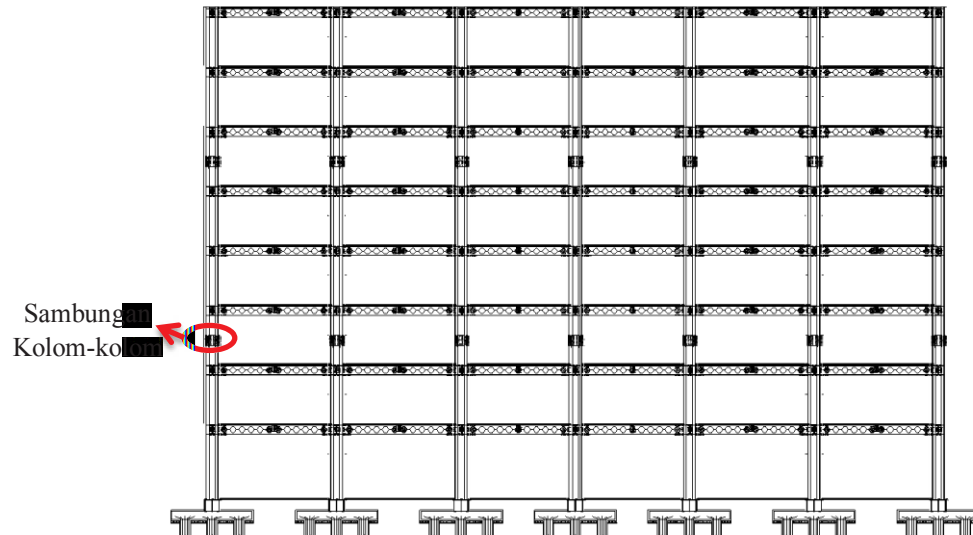
$$\begin{aligned} \phi M_n &= \frac{0,9 \times f_{yp} \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T d \cdot d_i \\ &= \frac{0,9 \times 240,0 \times 2,5281^2 \times 165,5}{2} + 160993733,5 \\ &= 161107973,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$M_u < \phi M_n$$

$$44831200 < 161107974 \text{ N}$$

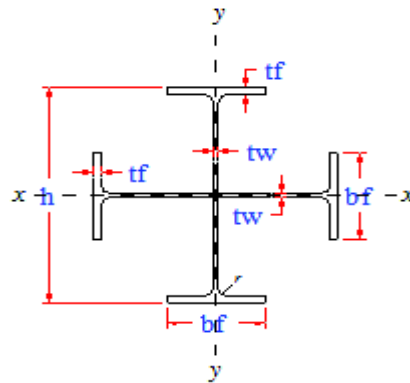
## 5.4 Sambungan Kolom-Kolom



Gambar 5.10 Letak dan jarak antar baut

Data Profil kolom :

Digunakan profil kolom :



Digunakan profil baja KC untuk kolom 588 x 300 x 12 x 20

Dari tabel baja diperoleh :

|       |            |       |               |       |                            |
|-------|------------|-------|---------------|-------|----------------------------|
| $h$   | : 588,0 mm | $r$   | : 28,0 mm     | $I_y$ | : 132585,0 cm <sup>4</sup> |
| $b_f$ | : 300,0 mm | $H_1$ | : 48,0 mm     | $r_x$ | : 18,16 cm                 |
| $t_w$ | : 12,0 mm  | $H_2$ | : 492,0 mm    | $r_y$ | : 18,16 cm                 |
| $t_f$ | : 20,0 mm  | $w$   | : 385,00 Kg/m | $S_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup>   |

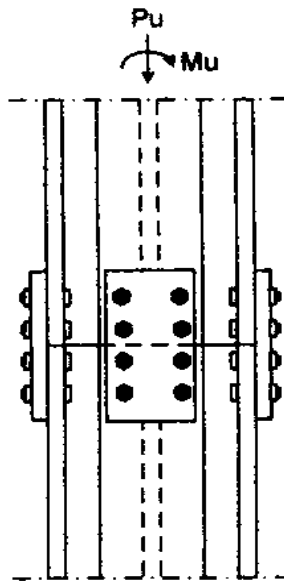
$$\begin{array}{llll}
 A_g & : & 385,0 \text{ cm}^2 & I_x & : & 127020,0 \text{ cm}^4 & S_y & : & 4419,5 \text{ cm}^3 \\
 Z_x & : & 4320,4 \text{ cm}^3 & f_u & : & 370 & \text{Mpa} & E_s & : & 200000 \text{ MPa} \\
 Z_y & : & 4419,5 \text{ cm}^3 & f_y & : & 240 & \text{MPa} & h_e & : & 492,0 \text{ mm} \\
 E_c & : & 23500 \text{ Mpa} & & & & f_c & : & 30 \text{ Mpa}
 \end{array}$$

A. Perhitungan terhadap sumbu x

**Data Perhitungan :**

(Hasil Statika ETABS 2015)

$$\begin{array}{lll}
 M_{ux} & = & 60389289 \text{ Nmm} \\
 N_u & = & 4360238,2 \text{ N} \\
 V_u & = & 522242,86 \text{ N}
 \end{array}$$



*Gambar 5.11 Sambungan kolom - kolom*

1. Perencanaan sambungan kolom-kolom direncanakan sambungan memikul 50 % gaya normal dan 100 % momen :

- a. Beban yang diterima sambungan :

$$= 50\% \times P_u = 50\% \times 4360238,2$$

$$= 2180119,1 \text{ N}$$

b. Beban pada masing-masing plat penyambung :

$$= \frac{2180119,1}{2} = 1090059,55 \text{ N}$$

c. Beban pada masing-masing plat penyambung :

$$= \frac{Mu}{0,95 \cdot dc} = \frac{60389289}{0,95 \times 588} = 108108,287 \text{ N}$$

d. Maka beban tekan dan tarik maksimum yang diterima oleh satu Plat penyambung :

$$= 1090059,6 + 108108,287 = 1198167,837 \text{ N}$$

e. Digunakan plat penyambung pada kolom dengan  $f_y = 240 \text{ Mpa}$  ,  
Karena Luas dari suatu plat penyambung yang dibutuhkan  
adalah :

$$= \frac{1198167,837}{240} = 4992,4 \text{ mm}^2$$

f. Lebar plat penyambung diambil :

$$= 300 \text{ mm} \leq bf = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tebal plat penyambung yang dibutuhkan adalah :

$$= \frac{4992,366}{300} = 16,641 \text{ mm} \approx 20,00 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai tebal plat penyambung} = 20,00 \text{ mm}$$

## 2. Perencanaan sambungan plat dengan flens kolom

Digunakan baut mutu tinggi A 325 dimana kekuatan tarik minimumnya ( $f_u$ ) adalah sebesar :

$$f_u = 120 \text{ Ksi} = 825 \text{ Mpa} \quad (\text{Tabel 4.1.1, Pustaka 9})$$

- a. Kuat nominal baut dalam geser :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.1})$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

$f_u^b$  = kekuatan tarik baut

$m$  = jumlah bidang geser (irisan tunggal =1)

$r_i$  = 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

$A_b$  = luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 1 1/6 ")

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1 (28,6)^2$$

$$= 642,099 \text{ mm}^2$$

maka :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$R_n = 0,75 \cdot 0,40 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 642,099$$

$$= 158919,40 \text{ N/baut}$$

$$= 15891,94 \text{ kg/baut}$$

- b. Kuat nominal baut dalam tarik :

$$R_n = \phi f \cdot (0,75 \cdot f_{ub}) m \cdot A_b \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.3})$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

$f_u^b$  = kekuatan tarik baut

$m$  = jumlah bidang geser (irisan tunggal =1)

$r_i$  = 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

$A_b$  = luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 1 1/6 ")

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1 (28,6)^2$$

$$= 642,099 \text{ mm}^2$$

maka :

$$R_n = \phi f \cdot (0,75 \cdot f_{ub}) m \cdot A_b$$

$$R_n = 0,75 \cdot (0,75 \cdot 825) \cdot 1 \cdot 642,099$$

$$= 297973,88 \text{ N/baut}$$

$$= 29797,39 \text{ kg/baut}$$

c. Kuat nominal baut dalam tumpu :

$$R_n = 2,4 \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.4})$$

Dimana :

$$\phi = 0,75 \text{ faktor reduksi kekuatan untuk fraktur}$$

$$d_b = \text{Diameter nominal baut} = 28,60 \text{ mm}$$

$$t_p = \text{tebal pelat penyambung (direncanakan } 20,00 \text{ )}$$

$$f_u = 0,4 \text{ untuk baut denan ulir pada bidang geser}$$

maka :

$$R_n = 2,4 \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$R_n = 2,40 \cdot 0,75 \cdot 28,6 \cdot 20 \cdot 240$$

$$= 247104,00 \text{ N/baut}$$

$$= 24710,40 \text{ kg/baut}$$

Dalam mencari jumlah baut yang dibutuhkan digunakan nilai

kuat nominal terkecil maka :

$$\phi R_n = \frac{1198167,837}{158919,40} = 7,5394685 \approx 8 \text{ Buah}$$

Maka digunakan 8 Buah Baut pada setiap flens kolom

d. Jarak Baut

- Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015

untuk baut dengan diameter :  $1 \frac{1}{8}$  in, yakni  $1 \frac{1}{8}$  in

Jarak tepi Maksimum ( $S_{max}$ ) menurut SNI 1729 : 2015 pasal

J3.5 adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 12 \text{ tp} \\ &= 12 \times 20 \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 150 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 150 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S_1 = 45 \text{ mm}$

- Jarak antar baut  $S$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.3, jarak minimum baut :

$$\begin{aligned} S_{min} &= 3 \text{ d} \\ &= 3 \times 28,6 \\ &= 85,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.5(a), jarak maksimum baut adalah yang terendah dari :

$$\begin{aligned} S_{maks} &= 24 \text{ tp} \\ &= 24 \times 20 \\ &= 480 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 305 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 305 \text{ mm}$$

Digunakan jarak  $S = 90 \text{ mm}$

Dimana :

$d$  : Diameter Baut (mm)

$tp$  : Ketebalan bagian paling tipis yang disambung (mm)

- e. Gaya geser yang diterima untuk satu baut :

$$V_{\text{baut}} = \frac{R}{n} = \frac{522242,86}{8} = 65280,358 \text{ N}$$

- f. Tegangan geser yang dipikul 1 baut :

$F_v \text{ baut A325} = 210 \text{ Mpa}$  (Hal 151, Pustaka 9)

$$F_v = \frac{V_{\text{baut}}}{A_{\text{baut}}} = \frac{65280,3575}{642,099} = 101,667 \text{ Nmm}^2$$

$$= 101,667 \text{ Nmm}^2 \leq 210 \text{ Nmm}^2$$

g. Maka Panjang plat penyambung adalah :

Jarak antar baut diambil  $S = 90 \text{ mm}$ , sedangkan jarak

baut ketepi plat penyambung diambil  $S_1 = 45 \text{ mm}$

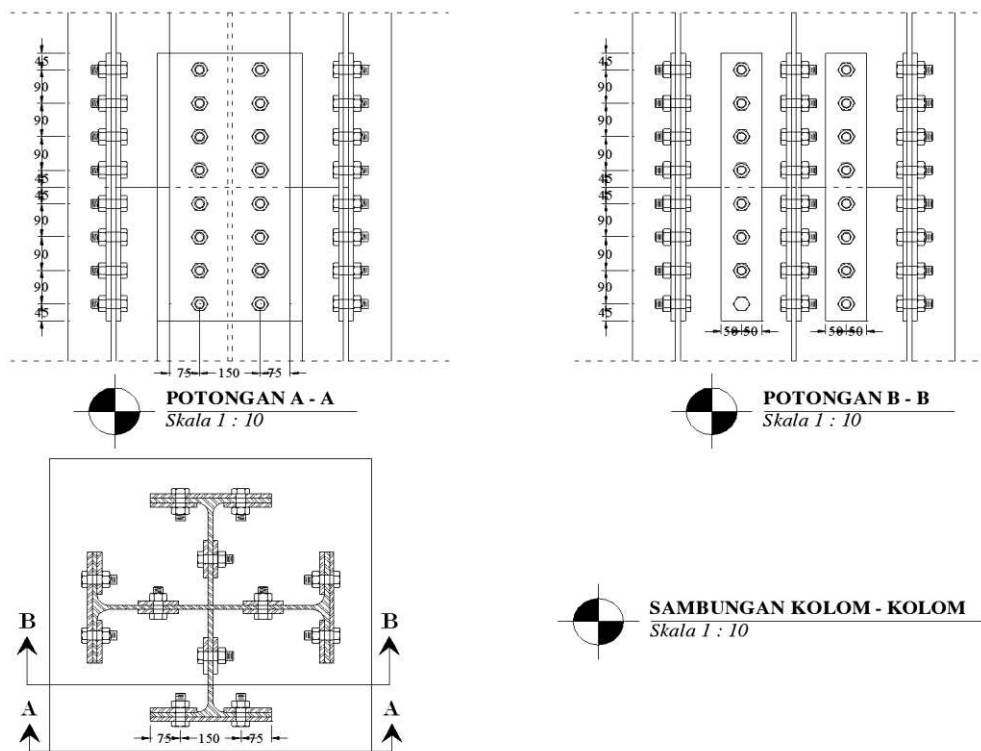
$$L = (S \cdot (n - 1)) + (2 \cdot S_1)$$

$$= (90 \cdot (4 - 1)) + (2 \cdot 45)$$

$$= 360 \text{ mm}$$

Ukuran plat penyambung =  $360 \times 300 \times 2$

Detail Sambungan Kolom :



Gambar 5.12 Detail Sambungan Arah x



B. Perhitungan terhadap sumbu y

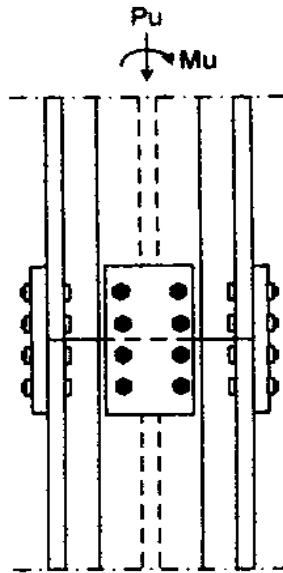
**Data Perhitungan :**

(Hasil Statika ETABS 2015)

$$M_{ux} = 25637152 \text{ Nmm}$$

$$N_u = 3815383,7 \text{ N}$$

$$V_u = 422187,2 \text{ N}$$



*Gambar 5.13 Sambungan kolom - kolom*

1. Perencanaan sambungan kolom-kolom direncanakan sambungan memikul 50 % gaya normal dan 100 % momen :

a. Beban yang diterima sambungan :

$$= 50\% \times P_u = 50\% \times 3815383,7$$

$$= 1907691,9 \text{ N}$$

b. Beban pada masing-masing plat penyambung :

$$= \frac{1907691,9}{2} = 953845,925 \text{ N}$$

c. Beban pada masing-masing plat penyambung :

$$= \frac{Mu}{0,95 \cdot dc} = \frac{25637152}{0,95 \times 588} = 45895,367 \text{ N}$$

d. Maka beban tekan dan tarik maksimum yang diterima oleh satu Plat penyambung :

$$= 953845,93 + 45895,367 = 999741,292 \text{ N}$$

e. Digunakan plat penyambung pada kolom dengan  $f_y$  : 240 Mpa ,  
Karena Luas dari suatu plat penyambung yang dibutuhkan adalah :

$$= \frac{999741,292}{240} = 4165,6 \text{ mm}^2$$

f. Lebar plat penyambung diambil :

$$= 300 \text{ mm} \leq bf = 300 \text{ mm}$$

Sehingga tebal plat penyambung yang dibutuhkan adalah :

$$= \frac{4165,589}{300} = 13,885 \text{ mm} \approx 20,00 \text{ mm}$$

$$\text{Dipakai tebal plat penyambung} = 20,00 \text{ mm}$$

## 2. Perencanaan sambungan plat dengan flens kolom

Digunakan baut mutu tinggi A 325 dimana kekuatan tarik minimumnya ( $f_u$ ) adalah sebesar :

$$f_u = 120 \text{ Ksi} = 825 \text{ Mpa} \quad (\text{Tabel 4.1.1, Pustaka 9})$$

- a. Kuat nominal baut dalam geser :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.1})$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

$f_u^b$  = kekuatan tarik baut

$m$  = jumlah bidang geser (irisan tunggal =1)

$r_i$  = 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

$A_b$  = luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 1 1/6 ")

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1 (28,6)^2$$

$$= 642,099 \text{ mm}^2$$

maka :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$R_n = 0,75 \cdot 0,40 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 642,099$$

$$= 158919,40 \text{ N/baut}$$

$$= 15891,94 \text{ kg/baut}$$

- b. Kuat nominal baut dalam tarik :

$$R_n = \phi f \cdot (0,75 \cdot f_{ub}) m \cdot A_b \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.3})$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

$f_u^b$  = kekuatan tarik baut

$m$  = jumlah bidang geser (irisan tunggal =1)

$r_i$  = 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

$A_b$  = luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 1 1/6 ")

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1 (28,6)^2$$

$$= 642,099 \text{ mm}^2$$

maka :

$$\begin{aligned}R_n &= \phi f \cdot (0,75 \cdot f_{ub}) m \cdot A_b \\R_n &= 0,75 \cdot (0,75 \cdot 825) \cdot 1 \cdot 642,099 \\&= 297973,88 \text{ N/baut} \\&= 29797,39 \text{ kg/baut}\end{aligned}$$

c. Kuat nominal baut dalam tumpu :

$$R_n = 2,4 \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.4})$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\phi &= 0,75 \text{ faktor reduksi kekuatan untuk fraktur} \\d_b &= \text{Diameter nominal baut} = 28,60 \text{ mm} \\t_p &= \text{tebal pelat penyambung (direncanakan } 20,00 \text{ )} \\f_u &= 0,4 \text{ untuk baut denan ulir pada bidang geser}\end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned}R_n &= 2,4 \phi f \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\R_n &= 2,40 \cdot 0,75 \cdot 28,6 \cdot 20 \cdot 240 \\&= 247104,00 \text{ N/baut} \\&= 24710,40 \text{ kg/baut}\end{aligned}$$

Dalam mencari jumlah baut yang dibutuhkan digunakan nilai kuat nominal terkecil maka :

$$\phi R_n = \frac{999741,292}{158919,40} = 6,2908699 \approx 8 \text{ Buah}$$

Maka digunakan 8 Buah Baut pada setiap flens kolom

d. Jarak Baut

- Jarak tepi minimum ( $S_1$ ) menurut tabel J3.4M SNI 1729 : 2015

untuk baut dengan diameter :  $1 \frac{1}{6}$  in, yakni  $1 \frac{1}{8}$  in

Jarak tepi Maksimum ( $S_{max}$ ) menurut SNI 1729 : 2015 pasal

J3.5 adalah nilai terendah dari :

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 12 \cdot t_p \\
 &= 12 \times 20 \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 150 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan jarak } S_1 = 45 \text{ mm}$$

- Jarak antar baut S

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.3, jarak minimum baut :

$$\begin{aligned}
 S_{min} &= 3 \cdot d \\
 &= 3 \times 28,6 \\
 &= 85,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 1729 : 2015 pasal J3.5(a), jarak maksimum baut adalah yang terendah dari :

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 24 \cdot t_p \\
 &= 24 \times 20 \\
 &= 480 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} = 305 \text{ mm}, \text{ Maka } S_{maks} = 305 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan jarak } S = 90 \text{ mm}$$

Dimana :

d : Diameter Baut (mm)

$t_p$  : Ketebalan bagian paling tipis yang disambung (mm)

- e. Gaya geser yang diterima untuk satu baut :

$$V_{\text{baut}} = \frac{R}{n} = \frac{422187,2}{8} = 52773,4 \text{ N}$$

- f. Tegangan geser yang dipikul 1 baut :

$$F_v \text{ baut A325} = 210 \text{ Mpa (Hal 151, Pustaka 9)}$$

$$F_v = \frac{V_{\text{baut}}}{A_{\text{baut}}} = \frac{52773,4}{642,099} = 82,189 \text{ Nmm}^2$$

$$= 82,189 \text{ Nmm}^2 \leq 210 \text{ Nmm}^2$$

g. Maka Panjang plat penyambung adalah :

Jarak antar baut diambil  $S = 90 \text{ mm}$ , sedangkan jarak

baut ketepi plat penyambung diambil  $S_1 = 45 \text{ mm}$

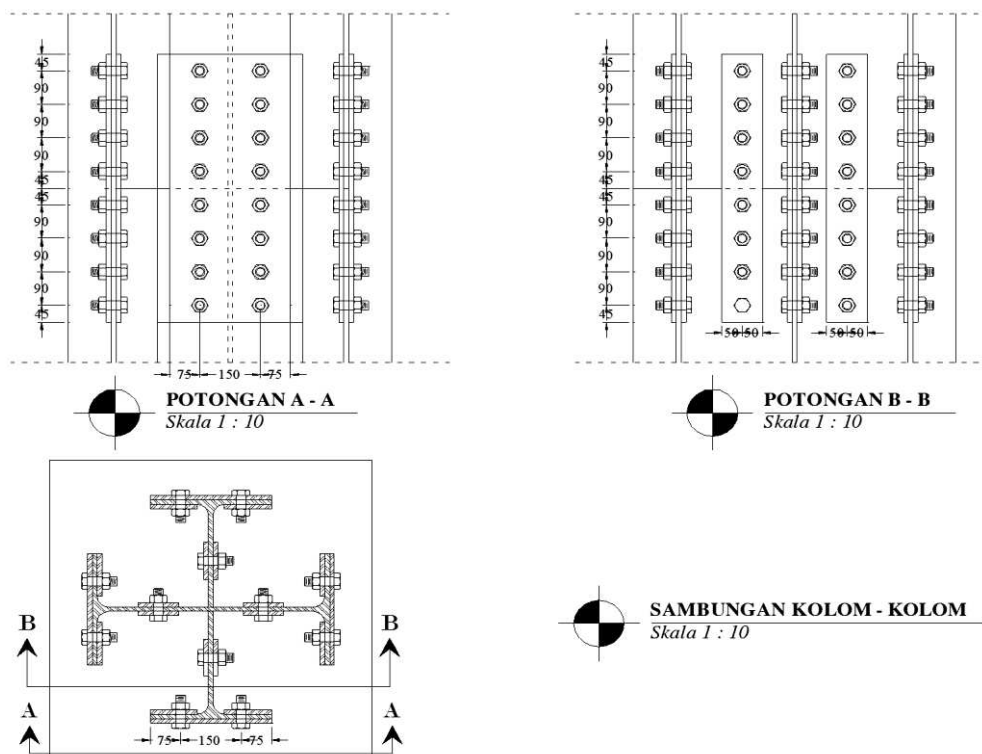
$$L = (S \cdot (n - 1)) + (2 \cdot S_1)$$

$$= (90 \cdot (8 - 1)) + (2 \cdot 45)$$

$$= 720 \text{ mm}$$

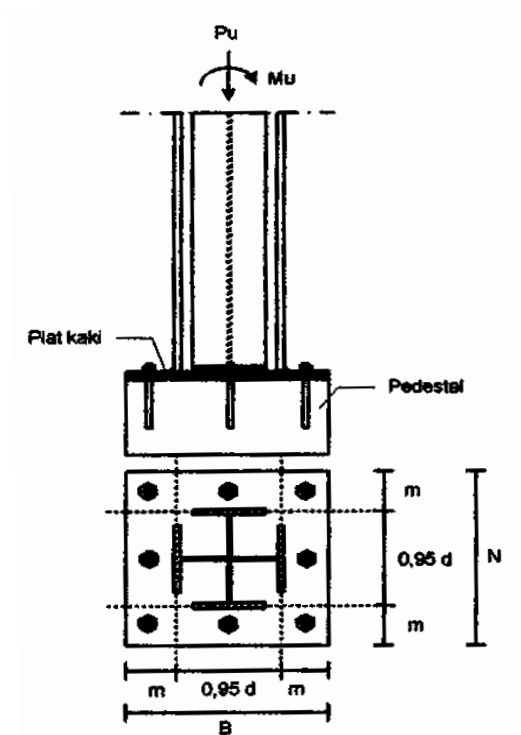
Ukuran plat penyambung =  $720 \times 300 \times 2$

Detail Sambungan Kolom :



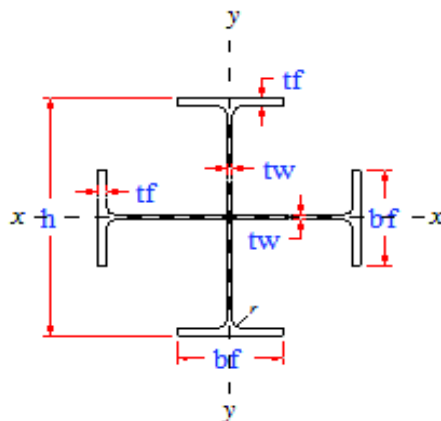
Gambar 5.14 Detail Sambungan Arah y

## 5.5 Perhitungan Base Plate



Gambar 5.15 Penampang Baseplate

Digunakan profil kolom :



Digunakan profil baja KC untuk kolom 588 x 300 x 12 x 20

Dari tabel baja diperoleh :

$$h : 588,0 \text{ mm} \quad r : 28,0 \text{ mm} \quad I_y : 132585,0 \text{ cm}^4$$

|       |                          |       |                            |       |                          |
|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------|
| $b_f$ | : 300,0 mm               | $H_1$ | : 48,0 mm                  | $r_x$ | : 18,16 cm               |
| $t_w$ | : 12,0 mm                | $H_2$ | : 492,0 mm                 | $r_y$ | : 18,16 cm               |
| $t_f$ | : 20,0 mm                | $w$   | : 385,00 Kg/m              | $S_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup> |
| $A_g$ | : 385,0 cm <sup>2</sup>  | $I_x$ | : 127020,0 cm <sup>4</sup> | $S_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup> |
| $Z_x$ | : 4320,4 cm <sup>3</sup> | $f_u$ | : 500 Mpa                  | $E_s$ | : 200000 MPa             |
| $Z_y$ | : 4419,5 cm <sup>3</sup> | $f_y$ | : 290 MPa                  | $h_e$ | : 492,0 mm               |
| $E_c$ | : 23500 Mpa              |       |                            | $f_c$ | : 30 Mpa                 |

Angkur yang digunakan :

Baut angkur

- $\varnothing_a$  (diameter) = 3/4 in = 19,05 mm
- $f_{uta}$  (tarik angkur) = 400
- $f_{ya}$  (leleh angkur) = 248
- $f_{nta}$  (tarik nominal angkur) = 0,75 x  $f_{uta}$  = 300 MPa
- $f_{va}$  (geser nominal angkur/ulir) = 0,45 x  $f_{uta}$  = 180 MPa  
(geser nominal angkur/polos) = 0,56 x  $f_{uta}$  = 225 MPa
- $n_{va}$  = 8 buah

$$f_{yp} = 240 \text{ Mpa}$$

$$f_{up} = 370 \text{ MPa}$$

Hasil analisa yang diperoleh dari program Etabs :

$$P_u = 5564848,8 \text{ N} = 556484,88 \text{ kg}$$

$$V_u = 140588,42 \text{ N}$$

$$M_u = 2377890,2 \text{ Nmm}$$

Mencari dimensi base plate yang akan digunakan :

a. Dimensi rencana base plate :

Luas bidang plat dasar perlu (A1) :



$$P_u \leq \phi P_p$$

$$P_u \leq \phi (0,85 \cdot f_c \cdot A_1)$$

$$556484,88 \leq 0,6 (0,85 \times 300 \times A_1)$$

$$A_1 = 3637,156078 \text{ cm}^2$$

Luas plat dasar harus lebih besar dari luas profil kolom.

$$\text{Luas profil kolom} = A_1 = 385,0 \text{ cm}^2$$

$$\Delta = \frac{0,95 \cdot d - 0,8 \cdot b_f}{2}$$

$$= \frac{0,95 \cdot 58,8 - 0,8 \cdot 30}{2} = 15,930 \text{ cm}$$

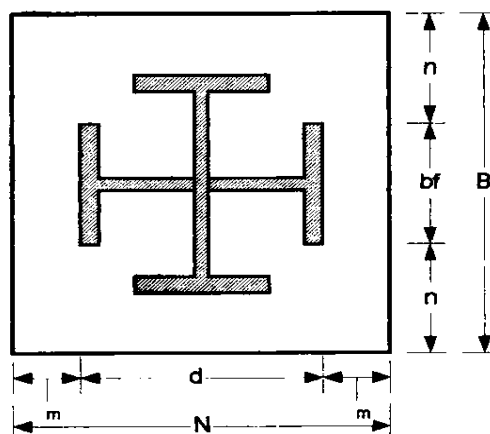
$$N = \sqrt{A_1} + \Delta = \sqrt{3637,2} + 15,930$$

$$= 76,239 \approx 80 \text{ cm}$$

$$B = \frac{A_1}{N} = \frac{3637,1561}{80} = 45,464 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$$

Sehingga dimensi plat dasar yang dipakai = 80 x 80 cm

b. Tebal pelat dasar



Gambar 5.16 Jarak dan notasi baseplate

Penentuan nilai m dan n

$$n = \frac{B - 0,8 \text{ bf}}{2} = \frac{80 - 0,8 \cdot 30}{2} = 28,00 \text{ cm}$$

$$0,98 d = 0,95 \cdot 58,8 = 55,86 \text{ cm}$$

$$m = 0,5 (N - 0,95 \cdot d) = 0,5 (80 - 55,86) = 12,07 \text{ cm}$$

Tebal plat yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot m^2}{B \cdot N (0,9) \cdot f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5564848,8 \cdot 12,07^2}{80 \cdot 80 \cdot (0,9) \cdot 2400}} \\ &= 10,830091 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_p &= \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot m^2}{B \cdot N (0,9) \cdot f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 5564848,8 \cdot 28^2}{80 \cdot 80 \cdot (0,9) \cdot 2400}} \\ &= 25,123657 \text{ mm} \approx 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perencanaan diatas maka dipakai pelat dasar dengan dimensi

80 cm x 80 cm dengan ketebalan pelat landasan = 30 mm

c. Perencanaan baut angkur

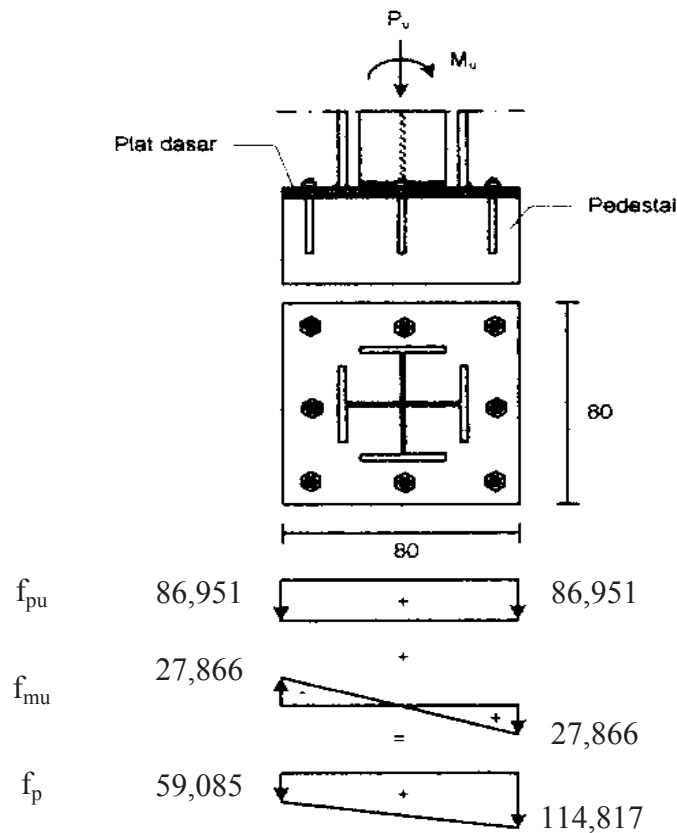
$$M_u = 2377890,2 \text{ Nmm} = 2377890,22 \text{ kgcm}$$

$$P_u = 5564848,8 \text{ N} = 556484,88 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} f_p &= \frac{P_u}{A} \pm \frac{M_u}{w} = \frac{556484,88}{80 \times 80} \pm \frac{2377890,22}{1/6 \times 80^3} \\ &= 86,951 \pm 27,866 \end{aligned}$$

$$f_{p \text{ max}} = 86,951 + 27,866 = 114,817 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{p \text{ min}} = 86,951 - 27,866 = 59,085 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 5.17 Skema gaya pada baseplate

Pada diagram tegangan diatas menunjukkan bahwa plat mengalami gaya tekan sepanjang sb X dan tidak ada gaya tarik. Baut kuat menahan tekan tetapi berbahaya terhadap kegagalan akibat geser. Maka direncanakan terhadap gaya geser yang terjadi.

Gaya angkur akibat gaya geser

$$V_u = 140588,42 \text{ N} = 14058,842 \text{ kg}$$

- d. Digunakan baut mutu tinggi A 325 dimana kekuatan tarik minimumnya ( $f_u$ ) adalah sebesar :

$$f_u = 120 \text{ Ksi} = 825 \text{ Mpa} \text{ (Tabel 4.1.1, Pustaka 9)}$$

Kuat nominal baut dalam geser :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b \quad (\text{Pustaka 4, Ps 13.2.2.1})$$

Dimana :

$\phi$  = 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

$f_u^b$  = kekuatan tarik baut

$m$  = jumlah bidang geser (irisian tunggal =1)

$r_1$  = 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

$A_b$  = luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 1 1/6 ")

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 1 \left( 28,6 \right)^2$$

$$= 642,099 \text{ mm}^2$$

maka :

$$R_n = \phi \cdot r_i \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$$

$$R_n = 0,75 \cdot 0,40 \cdot 825 \cdot 1 \cdot 642,099$$

$$= 158919,40 \text{ N/baut}$$

$$= 15891,94 \text{ kg/baut}$$

e. Penentuan jumlah angkur :

Gaya angkur akibat gaya geser :

$$V_u = 140588,42 \text{ N} = 14058,842 \text{ kg}$$

$$n = \frac{V_u}{\phi \cdot R_n} = \frac{14058,842}{15891,94}$$

$$= 0,8847 \approx 3 \text{ baut pada tiap sisi}$$

f. Gaya geser diterima untuk 1 baut :

$$V_u = 140588,42 \text{ N} = 14058,842 \text{ kg}$$

$$V_{\text{baut}} = \frac{R}{n} = \frac{15891,94}{3,00} = 5297,31345 \text{ kg}$$

g. Tegangan geser yang dipikul 1 baut :

Fv baut A325 = 2100 kg/cm<sup>2</sup> (Hal.151, Pusataka 9)

$$F_v = \frac{V_{\text{baut}}}{A_{\text{baut}}} = \frac{5297,31}{6,42} = 825,127 \text{ kg/cm}^2 \leq 2100 \text{ kg/cm}^2$$

h. Kuat Desain Tekan dan Tarik Las Fillet

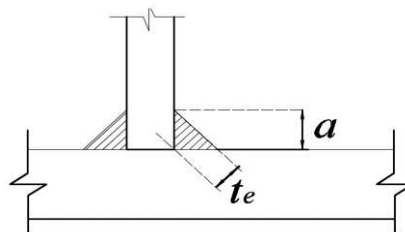
Digunakan sambungan las fillet sebagai berikut :

Sambungan las yang digunakan yakni electrode E7014

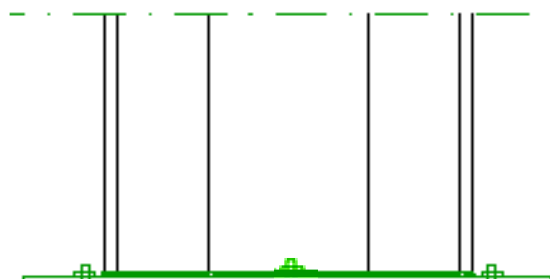
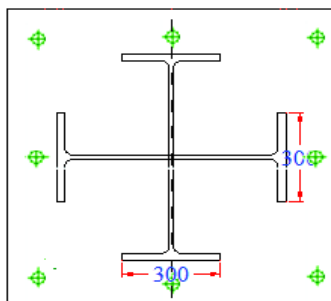
$$f_{uw} = 506 \text{ Mpa}$$

$$\text{tebal las rencana (a)} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{tebal efektif (t}_e\text{)} &= 0,707 a \\ &= 0,707 \times 10 \\ &= 7,07 \text{ mm} \end{aligned}$$



Panjang bagian yang dilas (L)



$$\begin{aligned}
L &= \left[ 4 \times bf \right] + \left[ 4 \pi r \right] + 4 \times \left[ bf - tw - 2 \times r \right] \\
&\quad + 4 \times \left[ d - 2 tf - 2 r - tw \right] + \left[ 8 \times tf \right] \\
&= \left[ 4 \times 300 \right] + \left[ 4 \times 3,14 \times 28 \right] + 4 \times ( 300 - 12 - \\
&\quad 2 \times 28 ) + 4 \times \left[ 588 - 2 \times 20 - 2 \times 28 - 12 \right] \\
&\quad + \left[ 8 \times 20 \right] \\
&= 4095,68 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Luas efektif las :

$$\begin{aligned}
A_{we} &= L \times t_e \\
&= 4095,7 \times 7,07 \\
&= 28956,458 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kuat nominal las per mm<sup>2</sup> :

$$\begin{aligned}
f_{nw} &= 0,6 \times f_{uw} \\
&= 0,6 \times 506 \\
&= 303,6 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Kuat nominal las, yakni :

$$\begin{aligned}
P_{nw} &= f_{nw} \times A_{we} \\
&= 303,6 \times 28956,458 \\
&= 8791180,5 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_{nw} &= 0,75 \times 8791180,5 \\
&= 6593385,4 \text{ N}
\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada balok

$$P_u = 5564848,8 \text{ N}$$

Kontrol terhadap gaya yang bekerja

$$\begin{aligned}
\phi P_n &> P_u \\
6593385,4 \text{ N} &> 5564848,8 \text{ N}
\end{aligned}$$

Kekuatan desain persatuan panjang las fillet :

$$\begin{aligned}\phi V_{nw} &= 0,75 \times t_e \times (0,6 \times f_{uw}) \times L \\ &= 0,75 \times 7,07 \times (0,6 \times 506) \times 4095,68 \\ &= 6593385,4 \text{ N}\end{aligned}$$

Panjang daerah yang di las (L)

Syarat :

$$\begin{aligned}V_u &< \phi V_{nw} \\ 140588,42 \text{ N} &< 6593385,396 \text{ N}\end{aligned}$$

i. Kontrol panjang angkur

Menurut Manual AISC LRFD hal tabel 8-26 panjang minimum angkur disyaratkan sebagai berikut : untuk angkur mutu A325 dengan diameter diantara  $\frac{1}{2}$  in s/d 1 in, panjang minimum angkur ( $L_{min}$ ) yakni =  $17 D$ , dimana  $D$  adalah diameter angkur.

$\frac{1}{2} \text{ in} < D = \frac{3}{4} \text{ in} < 1 \text{ in}$  maka :

$$\begin{aligned}L_{min} &= 17 D \\ &= 17 \times 19,05 \\ &= 323,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang angkur yang ditanam minimum yang di perlukan (L) yakni :

$$\begin{aligned}L &= \frac{f_y}{4 \times \sqrt{f_c'}} \times D \\ &= \frac{825}{4 \times \sqrt{30}} \times 19 \\ &= 717,35 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena  $L_a = 800\text{mm} > L = 717\text{mm} > L_{min} = 323,85$

Maka , Panjang angkur yang digunakan ( $L_a$ ) = 800 mm

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan perencanaan struktur gedung dengan mengacu pada metode LRFD AISC dan analisa gempa dinamika maka di dapat :

##### **1. Balok Castella**

###### **A. Balok Induk**

Menggunakan Profil Baja Castella 600 x 200 x 8 x 13 memiliki cukup kekuatan pada bentang  $L = 6$  m dan  $L = 5$  m.

###### **B. Balok Anak**

Menggunakan Profil Baja Castella 450 x 150 x 6,5 x 9 memiliki cukup kekuatan pada bentang  $L = 5$  m

###### **C. Balok Cucu**

Menggunakan Profil Baja Castella 300 x 100 x 5,5 x 8 memiliki cukup kekuatan pada bentang  $L = 3$  m.

##### **2. Kolom Encased**

Menggunakan Kolom Encased dengan dimensi 80 x 80 cm dan profil baja King Kross 588 x 300 x 12 20 cukup kuat dalam menerima kombinasi beban aksial maksimum dan momen maksimum.

##### **3. Shear Connector**

Pemasangan shear conector (penghubung geser) diameter  $5/8$  in = 15,88mm), tinggi HS = 80 mm pada balok induk menghindari slip/tergelincir beton terhadap baja sehingga keduanya tetap berperilaku sebagai komposit.



#### 4. Sambungan

##### A. Sambungan Balok - Kolom

- Pada sambungan flens balok dan flens kolom, menggunakan sambungan dengan jumlah baut sebanyak 8 buah ( $A325 \text{ } \varnothing = 7/8 \text{ in}$ ), dan las dengan ketebalan 5 mm cukup kuat untuk menahan momen yang bekerja.
- Pada sambungan badan balok dan flens kolom, menggunakan sambungan dengan jumlah baut sebanyak 4 buah ( $A325 \text{ } \varnothing = 7/8 \text{ in}$ ), dan las dengan ketebalan 5 mm cukup kuat untuk menahan momen yang bekerja.

##### B. Sambungan Balok Induk – Balok Anak

- Pada sambungan Balok induk – balok Anak, menggunakan sambungan dengan jumlah baut sebanyak 4 buah ( $A325 \text{ } \varnothing = 7/8 \text{ in}$ ,  $f_{ub} = 620 \text{ Mpa}$ ,  $f_{nv} = 372 \text{ Mpa}$ ), dengan jarak baut ke tepi 50 mm dan jarak antar baut 100 mm.

##### C. Sambungan Balok Anak – Balok Cucu

- Pada sambungan Balok Anak – Balok Cucu, menggunakan sambungan dengan jumlah baut sebanyak 4 buah ( $A325 \text{ } \varnothing = 7/8 \text{ in}$ ,  $f_{ub} = 620 \text{ Mpa}$ ,  $f_{nv} = 372 \text{ Mpa}$ ), dengan jarak baut ke tepi 30 mm dan jarak antar baut 67 mm.

## 5. Base Plate

Pada base plate menggunakan sambungan dengan jumlah baut sebanyak 8 buah / 3 baut tiap sisi (A325  $\varnothing = 3/4$  ,  $f_{uta} = 400$  Mpa  $f_{ya} = 248$  Mpa) , dipasang dengan kedalaman 800 mm.

## 6.2 Saran

Pada perencanaan konstruksi dengan menggunakan profil baja sangat perlu diperhatikan aspek kemudahan dalam pelaksanaan. Jangan sampai terjadi perencanaan tersebut tidak dapat dilaksanakan di lapangan. Perlu diperhatikan pula pada pemasangan angkur pada plat dasar harus sesuai dengan koordinat yang diberikan karena apabila melenceng maka konstruksi yang di atasnya tidak akan sesuai dengan perencanaan.

Sebagai bahan material bangunan selai beon bertulang, profil baja baik sebagai WF maupun *castelated beam* menghasilkan suatu konstruksi yang memiliki kekuatan yang aman untuk menahan beban.

Penggunaan profil baja baik sebagai WF maupun *castelated beam* dapat dilakukan untuk menghemat waktu pelaksanaan di lapangan. Apabila memakai model castela sebagai balok maka akan didapatkan konstruksi yang lebih ringan sehingga dapat menekan biaya proyek.

Demikian juga dengan pemilihan kolom Encased dimana dapat menahan beban yang relatif besar dan dapat melindungi dari bahaya kebakaran dan korosi.

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN PORTAL DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM  
ENCASED DAN BALOK CASTELLA METODE LRFD ANALISA  
GEMPA DINAMIS PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN  
TERPADU II FK UB – RSSA MALANG**

*Disusun dan Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S-1) Pada Program Teknik Sipil S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :**

**NANDO RISKY RAHMADHANI**

**12.21.078**

**Disetujui Oleh :**

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**( Ir. Ester Priskasari, MT )**

**( Ir. Bambang Wedyantadji, MT. )**

Malang, September 2016

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1

Institut Teknologi Nasional Malang



**( Ir. A. Agus Santosa, MT )**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL M A L A N G**

**2016**



## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nando Risky Rahmadhani

Nim : 1221078

Jurusan : Teknik Sipil S-1

Fakultas : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul :

**“STUDI PERENCANAAN PORTAL DENGAN MENGGUNAKAN  
KOLOM ENCASED DAN BALOK CASTELLA METODE LRFD  
ANALISA GEMPA DINAMIS PADA PEMBANGUNAN GEDUNG  
PENDIDIKAN TERPADU II FK UB – RSSA MALANG”**

Adalah hasil karya sendiri, bukan merupakan duplikat dan tidak mengutip atau menyadur seluruhnya dari hasil karya orang lain, kecuali yang tidak disebutkan sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil duplikat atau mengambil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, September 2016

Yang membuat pernyataan,



**Nando Risky Rahmadhani**

NIM : 12 .21 .078



**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**STUDI PERENCANAAN PORTAL DENGAN MENGGUNAKAN KOLOM  
ENCASED DAN BALOK CASTELLA METODE LRFD ANALISA  
GEMPA DINAMIS PADA PEMBANGUNAN GEDUNG PENDIDIKAN  
TERPADU II FK UB – RSSA MALANG**

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)*

*Pada Hari : Jum'at*

*Tanggal : 12 Agustus 2016*

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1*

**Disusun Oleh :**

**NANDO RISKY RAHMADHANI**

**12.21.078**

**Disahkan Oleh :**

**Ketua**

**Sekretaris**




**( Ir. A. Agus Santosa, MT )**

**( Ir. Munasih, MT )**

**Anggota Penguji :**

**Dosen Penguji I**

**Dosen Penguji II**



**( Ir. H. Sudirman Indra, M.Sc )**

**( Ir. A. Agus Santosa, MT )**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL M A L A N G**

**2016**